

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN GEOLOGÍA Y
PETRÓLEOS**

**METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS PARA EL
CAMPO CUYABENO-VHR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
PETRÓLEOS**

WALTER JOEL HARO RUIZ
haro.walter@gmail.com

DIRECTOR: ING. EDUARDO PATRICIO JARAMILLO CARRERA, MSc.
patricio.jaramillo@gmail.com

Quito, Mayo 2013

DECLARACIÓN

Yo WALTER JOEL HARO RUIZ, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

WALTER JOEL HARO RUIZ

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por WALTER JOEL HARO RUIZ, bajo mi supervisión.

Ing. PATRICIO JARAMILLO
DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Madre Dolorosa por darme fuerzas para salir adelante durante toda esta etapa de mi vida.

A mis padres Joel y Beatriz por regalarme todos los instrumentos necesarios para estudiar pero principalmente por estar a mi lado y comprender mi estilo de vida.

A mis hermanos Patty y Esteban por ser mi ejemplo y demostrarme que somos capaces de concluir con éxito los proyectos trazados para nuestras vidas, los amo.

A Gaby por enseñarme que todos los problemas tienen solución y que mientras exista amor, hasta la muerte es llevadera.

A Vane y Valentina por haber llegado a nuestro hogar para hacernos una gran compañía y alegrarnos los días.

Al Ingeniero Patricio Jaramillo por su colaboración desinteresada durante toda la elaboración de este proyecto.

A Sebas, Boris, Gordo, Andrés, Felipe, Quaker, Pableins, Paco, Chispa, Chiki, Iván, Goches, Marco y todos los wiros y eufasianos que nunca me dejaron solo y siempre tuvieron un buen consejo o un buen chiste para apoyarme.

A l@s Magnific@s Joselo, Victor, Pepito, Flaco, Trejo, Cristian, Josue, Pablito, Sindy, Rachel, Gabys, Salo, Soe por ser los mejores camaradas y por que juntos descubrimos que el mejor título que podemos llegar a tener es el de ser señor.

A Luis Constante por su gran ayuda en la parte final de este proyecto.

WALTER HARO RUIZ

DEDICATORIA

A Dios y a la Madre Dolorosa por protegerme para poder alcanzar una meta más en mi vida.

A mis padres porque este logro es de conjunto y sin su ayuda no lo hubiera hecho realidad.

A mis hermanos por su inmenso cariño y apoyo.

A todas las personas que me apoyaron y confiaron en mí.

WALTER HARO RUIZ

CONTENIDO

DECLARACIÓN	II
CERTIFICACIÓN	III
AGRADECIMIENTOS	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTA DE TABLAS.....	XII
LISTA DE FIGURAS.....	XV
SIMBOLOGÍA.....	XVIII
RESUMEN	XIX
PRESENTACIÓN	XXI
 CAPÍTULO I	
GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN.....	1
1.1 Brocas.....	1
1.1.1 Principios.....	1
1.1.2 Clasificación	1
1.1.2.1 Brocas tricónicas	2
1.1.2.1.1 Componentes de la broca tricónica.....	2
1.1.2.2 Brocas de compacto de diamante policristalino o PDC	7
1.1.2.2.1 Componentes de la broca con cortadores PDC	7
1.1.3 Aplicación.....	11
1.1.3.1 Brocas tricónicas	11
1.1.3.2 Brocas PDC.....	12
1.1.4 Mecánica de corte.....	12
1.1.4.1 Mecánica de corte de las brocas tricónicas	12
1.1.4.2 Mecánica de corte de las brocas PDC.....	13

1.1.5 desgaste de las brocas	13
1.1.5.1 Ejemplo de la evaluación del desgaste de las brocas.	14
1.1.5.1.1 Estructura de corte	14
1.1.5.1.2 Cojinete	15
1.1.5.1.3 Calibre.....	15
1.1.5.1.3 Observaciones	15
1.2 Perforación direccional	16
1.2.1 Introducción.....	16
1.2.2 Definición	16
1.2.3 Perforación bajo balance.....	16
1.2.4 Clasificación de pozos direccionales.....	17
1.2.4.1 Pozo con perfil S.....	17
1.2.4.2 Pozo con perfil J	17
1.2.4.3 Pozo con perfil horizontal.....	17
1.3 Mecánica de Rocas	18
1.3.1 Mineralogía.....	19
1.4 Reología	19
1.4.1 Viscosidad	20
1.4.2 Esfuerzo de corte y velocidad de corte	20
1.4.3 Viscosidad plástica.....	20
1.4.4 Punto cedente	21
1.4.5 Viscosidad a baja velocidad de corte	21
1.4.6 Tixotropía y esfuerzos de gel	21
1.5 Hidráulica de perforación	23
1.5.1 hidráulica de la broca	24
1.5.1.1 Pérdida de presión en la broca	24
1.5.1.2 Potencia Hidráulica	25

1.5.1.3 Velocidad de la tobera	25
1.5.1.4 Fuerza de impacto (IF).....	26
1.5.1.5 Porcentaje de pérdida de presión en la broca	26
1.5.1.6 Potencia hidráulica del sistema	26
1.5.2 Caídas de presión	27
1.5.2.1 Caída de presión en el anular.....	27
1.5.2.2 Caída de presión en la sarta de perforación.....	29
1.5.2.3 Optimización de la hidráulica.....	30
CAPÍTULO II	
METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS	32
2.1 Introducción	32
2.2 Generalidades de los campos	32
2.2.1 Descripción geológica del campo Cuyabeno.....	33
2.2.1.1 Estratigrafía	34
2.2.1.1.1 Basamento	34
2.2.1.1.2 Formación Hollin	34
2.2.1.1.3 Formación Napo.....	34
2.2.1.1.4 Formación Tena	34
2.2.1.1.5 Formación Tiyuyacu.....	35
2.2.1.2 Estructura	35
2.2.1.3 Descripción de los principales yacimientos.....	37
2.2.1.3.1 Arenisca T inferior	37
2.2.1.3.2 Arenisca T superior	37
2.2.1.3.3 Arenisca U inferior.....	37
2.2.1.3.4 Arenisca U media.....	37
2.2.1.3.5 Arenisca U superior.....	37
2.2.1.4 Características de la roca y del fluido	39

2.2.2 Descripción geológica del campo V.H.R.	39
2.2.2.1 Estratigrafía	40
2.2.2.1.1 Basamento Cristalino (Pre- Cámbrico).....	40
2.2.2.1.2 Formación Hollin	40
2.2.2.1.3 Formación Napo.....	40
2.2.2.1.4 Formación Tena	40
2.2.2.1.5 Formación Tiyuyacu.....	40
2.2.2.1.6 Formación Orteguaza.....	41
2.2.2.2 Estructura	41
2.2.2.3 Descripción de los principales yacimientos.....	44
2.2.2.3.1 Arenisca T inferior	44
2.2.2.3.2 Arenisca T superior	44
2.2.2.3.3 Arenisca U inferior.....	44
2.2.2.3.4 Arenisca U media	44
2.2.2.3.5 Arenisca U superior.....	44
2.2.2.3.6 Arenisca “M2”	45
2.2.2.3.7 Arenisca Basal Tena	45
2.2.2.4 Características de la roca y fluido.....	45
2.3 Información de pozos perforados en el campo	47
2.3.1 Bit record o Registro de brocas	48
2.3.1.1 Información de la broca	49
2.3.1.2 Torque	50
2.3.1.3 Peso sobre la broca (WOB).....	50
2.3.1.4 Rata de penetración (ROP).....	50
2.3.1.5 Velocidad de la rotaria (RPM).....	50
2.3.1.6 Caudal	51
2.6 Metodología para la selección de brocas.....	53

2.6.1 Costo por pie (C).....	53
2.6.2 Energía mecánica específica (E_s).....	54
2.6.2.1 Método de energía mecánica específica para la selección de brocas (E_s).....	54
2.7 Metodología de selección de brocas para el campo Cuyabeno-VHR.....	58
2.7.1 Ejemplo de cálculo	59
2.7.2 Metodología de selección para el campo Cuyabeno	65
2.7.3 Metodología de selección para el campo VHR	77
CAPÍTULO III	
SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE	
PERFORACIÓN	89
3.1 Planificación del perfil e hidráulica del pozo	89
3.2 Esquema mecánico de los pozos campo Cuyabeno	90
3.2.1 Programa de brocas campo Cuyabeno.....	92
3.3 Ejemplo de cálculo y simulación hidráulica	94
3.3.1 Procedimiento de la simulación hidráulica	94
3.4 Especificaciones técnicas de las brocas seleccionadas campo Cuyabeno	99
3.4.1. Sección de 26"	99
3.4.1.1 T11	99
3.4.2 Sección de 16"	100
3.4.2.1 RSR519M	100
3.4.3 Sección de 12.25"	102
3.4.3.1 DSX104DGJNSU.....	102
3.4.3.2 RSX192HFGSW	103
3.4.3.3 TD41AMPC.....	104
3.4.3.4 DSR619M	106
3.4.4 Sección de 8.5"	107

3.4.4.1 DSR619M	107
3.6 Esquema mecánico de los pozos campo VHR	108
3.7 Programa de brocas campo VHR	108
3.8 Especificaciones técnicas de las brocas seleccionadas campo VHR	112
3.8.1 Sección de 12.25"	112
3.8.1.1 HC605.....	112
3.8.1.2 HCM605ZX	113
3.8.2 Sección de 8.5"	115
3.8.2.1 HC605S	115
3.8.2.2 GX-09	116
3.8.2.3 HCM506Z	117
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	119
4.1 Introducción	119
4.2 Costos Campo Cuyabeno	120
4.2.1 Tiempo de perforación pozo modelo	121
4.2.2 Análisis de resultados	126
4.3 Costos Campo VHR.....	126
4.3.1 Tiempo de perforación pozo modelo	127
4.3.2 Análisis de resultados	132
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	134
5.1 Conclusiones	134
5.2 Recomendaciones	136
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	138
ANEXOS	139

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN

TABLA 1.1: CÓDIGO IADC PARA BROCAS TRICÓNICAS	6
TABLA 1.2: CÓDIGO IADC PARA BROCAS PDC.....	11
TABLA 1.3: CÓDIGO DE EVALUACIÓN DE DESGASTE IADC.....	15
TABLA 1.4: EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA BROCA HC605Z	16
TABLA 1.4: PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS MINERALES	19

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS

TABLA 2.1 CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO CUYABENO	39
TABLA 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO VHR	45
TABLA 2.3 ENCABEZADO BIT RECORD CUY 28D	52
TABLA 2.4 SECCIÓN PRINCIPAL BIT RECORD CUY 28D.....	52
TABLA 2.5 DATOS OBTENIDOS DEL REGISTRO DE BROCAS	55
TABLA 2.6: EJEMPLO DE SELECCIÓN DE BROCAS.....	57
TABLA 2.7: COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL	62
TABLA 2.8: BROCA #1, HUECO 16" PRIMERA SECCIÓN.....	65
TABLA 2.9: BROCA #2, HUECO 12.25" SECCIÓN SUPERFICIAL	67
TABLA 2.10: BROCA #3, HUECO 12.25" FORMACIÓN ORTEGUAZA	69
TABLA 2.11: BROCA #4, HUECO 12.25" TOPE FORMACIÓN TIYUYACU	71
TABLA 2.12: BROCA #5, HUECO 8.5" FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU	73
TABLA 2.13: BROCA #6, HUECO 8.5" FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- PRC.....	75
TABLA 2.14: BROCA #1, HUECO 12.25" PRIMERA SECCIÓN	77
TABLA 2.15: BROCA #2, HUECO 12.25" SECCIÓN SUPERFICIAL	79

TABLA 2.16 BROCA #3, HUECO 12.25" FORMACIÓN ORTEGUAZA	81
TABLA 2.17 BROCA #4, HUECO 8.5" TOPE FORMACIÓN TIYUYACU	83
TABLA 2.18: BROCA #5, HUECO 8.5" FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU	85
TABLA 2.19: BROCA #6, HUECO 8.5" FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- BASAMENTO	87
CAPÍTULO III	
SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE PERFORACIÓN	
TABLA 3.1: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO CUYABENO	92
TABLA 3.2 HIDRAULICA BROCA TIPO T11	100
TABLA 3.3 HIDRAULICA BROCA TIPO RSR519M	101
TABLA 3.4 HIDRAULICA BROCA TIPO DSX104DGJNSU	102
TABLA 3.5 HIDRAULICA BROCA TIPO RSX192HFGSW	104
TABLA 3.6 HIDRAULICA BROCA TIPO TD41AMPC	105
TABLA 3.7 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 12.25"	106
TABLA 3.8 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 8.5"	107
TABLA 3.9: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO VHR	109
TABLA 3.10 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605Z	113
TABLA 3.11 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX	114
TABLA 3.12 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX (reutilizada)	115
TABLA 3.13 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605S	116
TABLA 3.14 HIDRAULICA BROCA TIPO GX-09	117
TABLA 3.15 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM506Z	118
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	
TABLA 4.1 COSTOS POZO CUYABENO 32D	120

TABLA 4.2: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO CUYABENO	123
TABLA 4.3 COSTOS POZO VHR 12D.....	127
TABLA 4.4: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO VHR	129
TABLA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO	132

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN

FIGURA 1.1 CONOS O ESTRUCTURAS DE CORTE.....	3
FIGURA 1.2 TIPOS DE COJINETES	4
FIGURA 1.3 CUERPO DE BROCA TRICÓNICA	4
FIGURA 1.4 PARTES DE UNA BROCA TRICÓNICA.....	5
FIGURA 1.5 BROCA DE CORTADORES FIJOS (PDC)	7
FIGURA 1.6 VISTA FRONTAL DE UNA BROCA PDC	8
FIGURA 1.7 CORTE TRANSVERSAL DE UNA BROCA PDC	8
FIGURA 1.8 CORTADOR PDC.....	9
FIGURA 1.9 FRACTURA DE LA ROCA POR COMPRESIÓN.....	12
FIGURA 1.10 FRACTURA DE LA ROCA POR CORTE.....	13
FIGURA 1.11 CLASIFICACIÓN DE POZOS DIRECCIONALES	18
FIGURA 1.12 PERFIL DE VELOCIDAD DE UN FLUIDO NEWTONIANO	22
FIGURA 1.13 ETAPAS DE FLUJO	22

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS

FIGURA 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO CUYABENO-V.H.R.	33
FIGURA 2.2 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO CUYABENO, PROFUNDIDAD TOPE “U” SUPERIOR.....	36
FIGURA 2.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO CUYABENO	38
FIGURA 2.4 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO VHR, PROFUNDIDAD BASE CALIZA “A”	42
FIGURA 2.5 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO V.H.R	46
FIGURA 2.6 E_s VS PROFUNDIDAD	55
FIGURA 2.7 COSTO POR PIE VS PROFUNDIDAD.....	55
FIGURA 2.8 COMPARACIÓN GRÁFICA SECCIÓN SUPERFICIAL	62

FIGURA 2.9 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN	66
FIGURA 2.10 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL	68
FIGURA 2.11 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA.....	70
FIGURA 2.12 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU	72
FIGURA 2.13 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU	74
FIGURA 2.14 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- PRC.....	76
FIGURA 2.15 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN	78
FIGURA 2.16 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL	80
FIGURA 2.17 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA.....	82
FIGURA 2.18 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU	84
FIGURA 2.19 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU	86
FIGURA 2.20 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN- BASAMENTO.....	88
CAPÍTULO III	
SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE PERFORACIÓN	
FIGURA 3.1 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO CUYABENO. ...	91
FIGURA 3.2 PLAN DE BROCAS CAMPO CUYABENO.	93
FIGURA 3.3 SECCIÓN 1, DATOS.	95
FIGURA 3.4 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL ANULAR.	96
FIGURA 3.5 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA SARTA.	97
FIGURA 3.6 SECCIÓN 3, ANÁLISIS HIDRAULICO DE LA BROCA	97
FIGURA 3.7 SECCIÓN 3, OPTIMIZACIÓN HIDRAULICA	98
FIGURA 3.8 BROCA DE 26" T11	100
FIGURA 3.9 BROCA DE 16" RSR519M	101

FIGURA 3.10 BROCA DE 12.25" DSX104DGJNSU	103
FIGURA 3.11 BROCA DE 12.25" RSX192HFGSW	104
FIGURA 3.12 BROCA DE 12.25" TD41AMPC	105
FIGURA 3.13 BROCA DE 12.25" DSR619M	107
FIGURA 3.14 ESQUEMA DE PERFORACIÓN POZO CAMPO VHR.	110
FIGURA 3.15 PLAN DE BROCAS CAMPO VHR.	111
FIGURA 3.16 BROCA DE 12.25" HC605.....	113
FIGURA 3.17 BROCA DE 12.25" HCM605ZX.....	114
FIGURA 3.18 BROCA DE 12.25" HC605S	115
FIGURA 3.19 BROCA DE 12.25" GX-09	117
FIGURA 3.20 BROCA DE 8.5" HCM506Z	118
CAPÍTULO IV	
ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO	
FIGURA 4.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO CUYABENO	124
FIGURA 4.2 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO MODELO CAMPO CUYABENO	125
FIGURA 4.3 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO VHR.....	130
FIGURA 4.4 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO MODELO CAMPO V.H.R.....	131
FIGURA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO	133

SIMBOLOGÍA

EPP= Empresa Pública PETROECUADOR.

PDC= Diamante policristalino compacto.

IADC= Asociación Internacional de Contratistas de Perforación.

CUY= Campo Cuyabeno.

VHR= Campo Víctor Hugo Ruales.

bls= Barriles.

BPPD= Barriles de petróleo por día.

ROP= Tasa de penetración.

RPM= Revoluciones por minuto.

SPM= Estroques por minuto.

GPM= Galones por minuto.

WOB= Peso sobre la broca.

TVD = Profundidad vertical real.

MD= Profundidad medida en la trayectoria del hueco.

MWD= Midiendo mientras se perfora.

ST= Dientes de acero.

TCI= Dientes con Insertos de Carburo de Tungsteno.

BHA= Ensamblaje de fondo.

PSI= Libra/pulgada cuadrada.

SW= Saturación de agua.

ho= Espesor neto de petróleo.

Φ = Porosidad.

K= Permeabilidad, md.

Es= Energía mecánica específica.

C= Costo de perforación por pie.

UCS= Esfuerzo Compresivo de la roca sin confinamiento.

JSA= Área de la ranura de residuos.

TFA= Área total de flujo

HSI= Caballaje hidráulico por pulgada cuadrada del área de la broca

IF= Fuerza de impacto.

RESUMEN

En el presente proyecto de titulación, se desarrolla el estudio de la metodología de selección de brocas para nuevas perforaciones en el campo Cuyabeno-VHR, el cual es administrado por la empresa estatal EP PETROECUADOR.

El Primer Capítulo, comprende una conceptualización de las brocas de perforación, la clasificación de los tipos de brocas, los elementos que conforman la estructura de la broca, su aplicación para los diferentes tipos de perforación y la forma en la que actúan sobre la superficie de la roca, el sistema de evaluación del desgaste de la broca después de la perforación. Adicionalmente se describe las propiedades de fluidos de perforación y su directa relación con las brocas, finalmente se detalla el procedimiento para calcular la hidráulica de las brocas de perforación.

En el Segundo Capítulo, se realiza la descripción general del campo Cuyabeno-VHR, la estratigrafía, la estructura y la descripción de los principales yacimientos. Este capítulo se refiere a la metodología de selección del programa de brocas, parte decisiva de la planificación para la perforación de un pozo de petróleo, se describe el proceso para realizar dicha selección, la información necesaria para poder llevar a cabo este procedimiento y la evaluación propiamente dicha de las brocas utilizadas en las perforaciones de pozos en el campo Cuyabeno-VHR.

Se estudia dieciséis pozos, alcance que proporciona mayor visión para la selección de las brocas de mejor rendimiento, para perforar nuevos pozos dentro del campo.

En el Tercer Capítulo, se procede con la selección de las brocas con mejor desempeño en los pozos analizados en el Segundo Capítulo. Las brocas seleccionadas tienen menores tiempos de perforación y mayores intervalos de perforación con respecto al conjunto de brocas analizadas para cada una de las formaciones. Para la elaboración del programa de brocas, se tiene en cuenta condiciones importantes como el esquema de perforación, los puntos de

asentamiento de la tubería de revestimiento y de producción y las formaciones que atraviesan los pozos modelo.

Además, se detalla las características técnicas, propiedades y beneficios de las brocas seleccionadas por sección, con los parámetros operacionales recomendados y los intervalos que perfora cada una. Cada broca cuenta con un plan hidráulico calculado con el procedimiento detallado en el capítulo1, de esta manera se optimiza el funcionamiento de las brocas.

En el Cuarto Capítulo, se elabora un análisis de costos y de tiempos de perforación basado en la comparación de un pozo real y un pozo modelo, con el fin de determinar el ahorro generado con la utilización de las brocas recomendadas. Utilizando los programas de brocas recomendados, el tiempo de perforación del pozo modelo es menor que el tiempo de perforación del pozo real.

Para el análisis se toma en cuenta el costo por “suma global” de dos empresas proveedoras de brocas al mes de Diciembre del 2012.

Finalmente en el Capítulo Cinco, se presentan conclusiones y recomendaciones en base al proyecto realizado, para ser consideradas.

PRESENTACIÓN

La realización del presente Proyecto de Titulación está enfocada en estudiar la metodología de selección de brocas en el campo Cuyabeno-VHR, actualmente en manos de la empresa EP PETROECUADOR, con el objeto de optimizar los tiempos de perforación de un pozo de petróleo, para generar ahorro al momento de efectuar la perforación. La compañía operadora tiene como objetivo disminuir los costos de perforación de una manera confiable, optimizando los tiempos en los cuales se lleva a cabo la perforación de un pozo de petróleo.

La metodología de selección de brocas, consiste en la interpretación de parámetros y herramientas utilizadas en anteriores perforaciones, para realizar esta interpretación se usaron hojas de cálculo diseñadas especialmente para este análisis, para obtener como resultado las mejores brocas y los planes hidráulicos para cada una de las formaciones. La implementación de la metodología para la selección de brocas permitirá alcanzar mayores tasas de penetración durante las perforaciones de nuevos pozos y por ende, acortar el tiempo total de la perforación, por tal motivo, disminuir el costo de este trabajo.

Para llevar a cabo el presente proyecto, se investiga los registros de brocas y de fluidos de pozos perforados en el campo desde el año 2008, dando un mejor punto de vista en referencia a los desempeños de las brocas empleadas en los años anteriores.

Finalmente, para determinar la viabilidad y si el proyecto es económicamente rentable, se realiza un análisis técnico económico comparando los costos de perforación de un pozo real con los costos de un pozo modelo, concluyendo la disminución de los días de perforación de un pozo en el campo Cuyabeno-VHR.

Como resultado, se obtiene el proyecto realizado, con información, criterios y ejemplos útiles para la empresa Operadora, Escuela Politécnica Nacional e interesados en general en la metodología de selección de brocas.

CAPÍTULO I

GENERALIDADES: BROCAS DE PERFORACIÓN¹

1.1 BROCAS

Es la herramienta de corte utilizada para triturar y/o cortar las formaciones del subsuelo durante el proceso de perforación, está situada en el extremo inferior de la sarta de perforación.

1.1.1 PRINCIPIOS

El principio fundamental que cumplen las brocas durante un proceso de perforación es el de vencer los esfuerzos de corte y de compresión de la roca.

Para llevar a cabo este propósito, si el tipo de broca es una tricónica, los dientes deben incrustarse en la formación y posteriormente cortarla mientras se desplaza dentro de la misma.

En el caso de que la broca sea PDC el proceso se cumple mediante el cizallamiento generado por los cortadores de la broca que vencen la resistencia de la formación. De esta manera se diferencian dos tipos principales de brocas: de dientes y de arrastre.

El desempeño de la broca está directamente relacionado con el tipo y características de la roca que se desea cortar, principalmente en función de la dureza, factor importante para clasificar las brocas.

1.1.2 CLASIFICACIÓN

Las brocas son clasificadas de acuerdo a su mecanismo de ataque a la roca en dos tipos: tricónicas y PDC.

¹ Información tomada del Capítulo 2 y 3 del libro: HUGUES C. "Drill bit foundation", Versión 4-04.

1.1.2.1 Brocas tricónicas

Como su nombre indica, estas brocas están constituidas por tres conos giratorios con dientes que pueden ser de acero o de insertos de carburo de tungsteno dependiendo de las necesidades de trabajo.

1.1.2.1.1 Componentes de la broca tricónica

Sus tres componentes principales son:

- Conos o estructura de corte.
- Cojinetes.
- Cuerpo de la broca.

Conos o estructura de corte

Las estructuras de corte empleadas para las brocas tricónicas son de dos tipos diferentes:

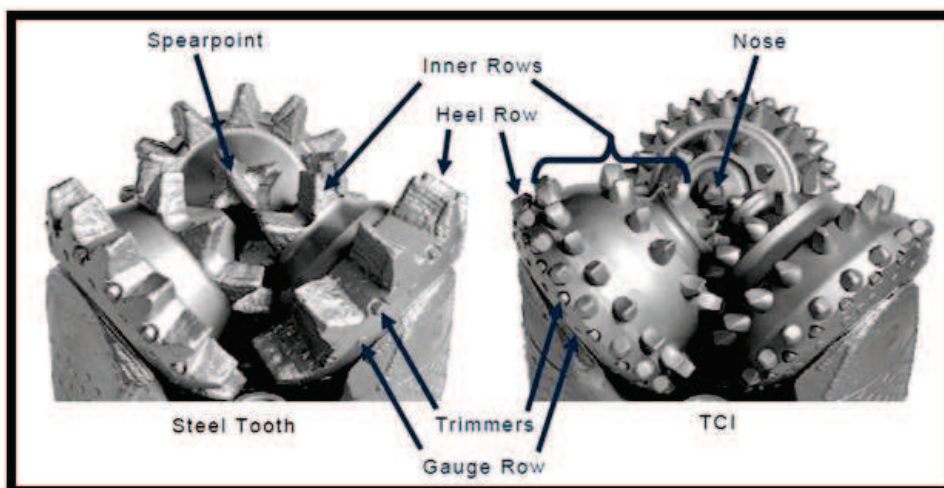
- Dientes de acero (ST).
- Dientes con insertos de carburo de tungsteno (TCI).

Conos con dientes de acero: Se construyen a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Las brocas con conos con dientes de acero pueden diseñarse para ser utilizadas en formaciones blandas, medias y duras.

Conos con dientes con insertos de carburo de tungsteno (TCI): De la misma manera que los conos con dientes de acero, estos se construyen a partir de piezas forjadas de aleación de acero con níquel, molibdeno y cromo. Los dientes son sometidos a un proceso térmico para incrementar la resistencia y la fuerza de estas piezas, prolongando de esta manera el tiempo de vida útil de la broca en comparación a una broca con conos con dientes de acero. Estos dientes se colocan a presión en los orificios perforados en las superficies de los conos.

Esta broca está diseñada para perforar desde formaciones blandas, medianas y hasta muy duras. La figura 1.1, muestra los tipos de estructura de corte de la broca tricónica.

FIGURA 1.1 CONOS O ESTRUCTURAS DE CORTE



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Cojinetes

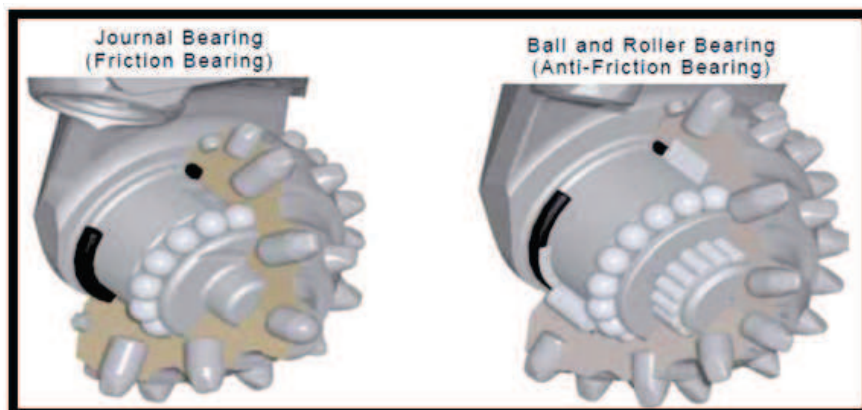
Es la parte de la broca donde se montan los conos, permiten que los conos puedan girar alrededor del cuerpo de la broca. Se clasifican en dos tipos principales:

- Cojinete a rodillos.
- Cojinete a fricción (Journal).

Cojinete a rodillos: están posicionados de tal forma que soportan la carga radial.

Cojinete a fricción: también conocido como journal, es un perno sólido unido a la superficie interna del cono que se convierte en el principal elemento del cojinete que soporta la carga radial.

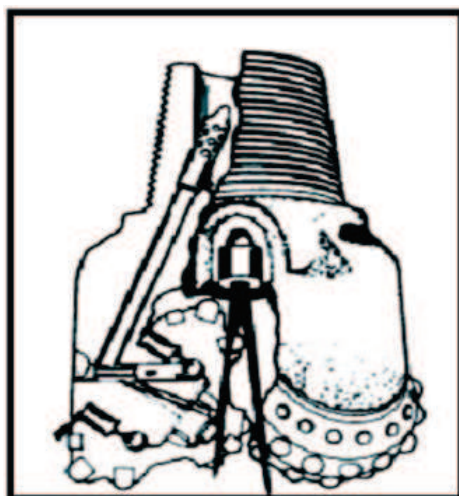
La figura 1.2, muestra los tipos de cojinetes una broca tricónica.

FIGURA 1.2 TIPOS DE COJINETES

FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Cuerpo de la broca

Una de las funciones que cumple el cuerpo de la broca es direccionar el fluido de perforación para lograr una limpieza en el fondo del pozo más efectiva. En la actualidad, la mayoría de las brocas son del tipo a chorro, donde el fluido apunta hacia el fondo del pozo y no como anteriormente donde los orificios en el cuerpo estaban ubicados de tal forma que el fluido estaba direccionado para limpiar los conos de la broca. La figura 1.3, muestra el cuerpo de la broca y el direccionamiento del fluido de perforación hacia el fondo el pozo.

FIGURA 1.3 CUERPO DE BROCA TRICÓNICA

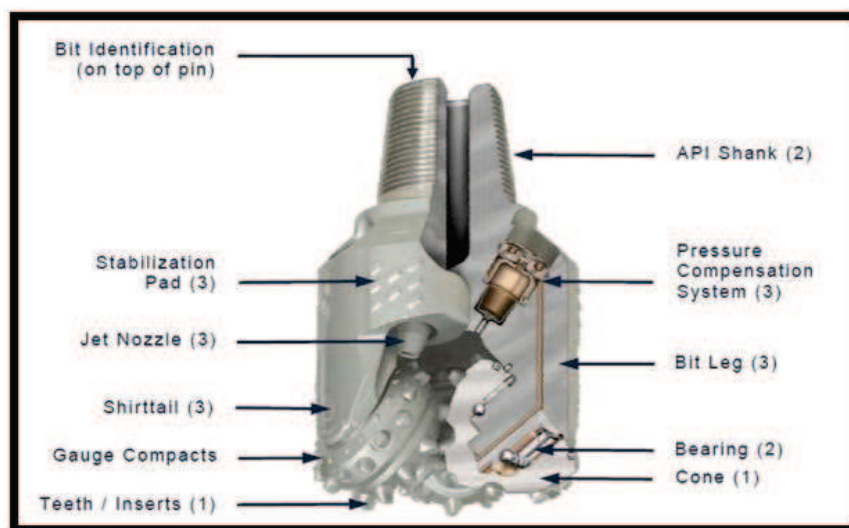
FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Partes del cuerpo de una broca tricónica:

La figura 1.4, muestra las partes de una broca tricónica.

- Conexión roscada para unir la broca con la sarta de perforación.
- Tres ejes de cojinetes para montar los conos.
- Depósitos que contienen el lubricante para los cojinetes.
- Orificios mediante los cuales el fluido de perforación efectúa la limpieza del pozo.

FIGURA 1.4 PARTES DE UNA BROCA TRICÓNICA



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

El código IADC para brocas tricónicas

Tomando en cuenta que existen distintas compañías fabricantes de brocas tricónicas y que cada una tiene sus propios diseños con características específicas, la Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC) desarrolló un sistema estandarizado para clasificar las brocas tricónicas y evitar confusiones entre los tipos de brocas equivalentes en relación con los distintos fabricantes. El código IADC, cuenta con un sistema de clasificación de tres dígitos, que se explica en la tabla 1.1.

TABLA 1.1: CÓDIGO IADC PARA BROCAS TRICÓNICAS

	1er Dígito		2do Dígito		3er Dígito								
	Sistema de Corte		Dureza		Sistema de rodamiento								
					1	2	3	4	5	6	7	8	9
Dientes de Acero	1	Para formación blanda	1	Suave	T	T	P	B	B	C	C	P	O
			2	Media suave	O	O	R	A	A	H	H	A	T
			3	Media dura	B	B	O	L	L	U	U	R	R
			4	Dura	E	E	T	E	E	M	M	A	O
	2	Para formación media	1	Suave	R	R	E	R	R	A	A		S
			2	Media suave	A	A	C	O	O	C	C	P	
			3	Media dura	S	S	C	I	S	S	R	R	R
			4	Dura	P	A	Ó	E	E	A	A	F	O
	3	Para formación dura	1	Suave	A	R	R	L	L	S	S	R	A
			2	Media suave	A	E	A	A	A	E	E	A	C
			3	Media dura	L	/	L	D	D	L	L	L	L
			4	Dura	L	O	O	C	A	Y	D	A	D
Dientes de Insertos	4	Para formación muy blanda	1	Suave	O	O	L	U	A				
			2	Media suave	Y	Y	I	T	P			D	
			3	Media dura	B	B	R	E	U	T			I
			4	Dura	A	A	E	B	E	B	E	P	R
	5	Para formación blanda	1	Suave	L	L	Y	R	C	C	O	C	I
			2	Media suave	E	E	B	I	C	I	E	O	N
			3	Media dura	R	R	O	A	Ó	N	C	C	A
			4	Dura	S	S	L	E	B	L	E		L
	6	Para formación media	1	Suave	E	E	R	O	A	L			
					S	S	O						
					T	T							
					A	A	E	C	A	L			
7	Para formación dura	1	Suave	N	N	S	T	A	L				
		2	Media suave	D	D	A	A						
		3	Media dura	A	A	R	R						
		4	Dura	R	R								
8	Para formación extra dura	1	Suave			A	R						
		2	Media suave										
		3	Media dura										
		4	Dura										

FUENTE: EP Petroecuador
ELABORADO POR: Walter Haro

1.1.2.2 Brocas de compacto de diamante policristalino o PDC

Las brocas de compacto de diamante policristalino o PDC pertenecen al conjunto de brocas de diamante con cuerpo sólido que utilizan materiales sintéticos para construir sus cortadores fijos. Estos tienen forma de pastillas (compactas de diamante). Al igual que las brocas tricónicas su diseño hidráulico se realiza con sistema de toberas para lodo. La figura 1.5, muestra una broca PDC.

En perforaciones de pozos de petróleo pueden ser utilizadas en todo tipo de formaciones desde muy suaves hasta muy duras. Debido a sus distintos diseños y características, actualmente este tipo de broca es la más utilizada. Las brocas PDC pueden ser reutilizables lo que representa una ventaja económica.

FIGURA 1.5 BROCA PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

1.1.2.2.1 Componentes de la broca con cortadores PDC

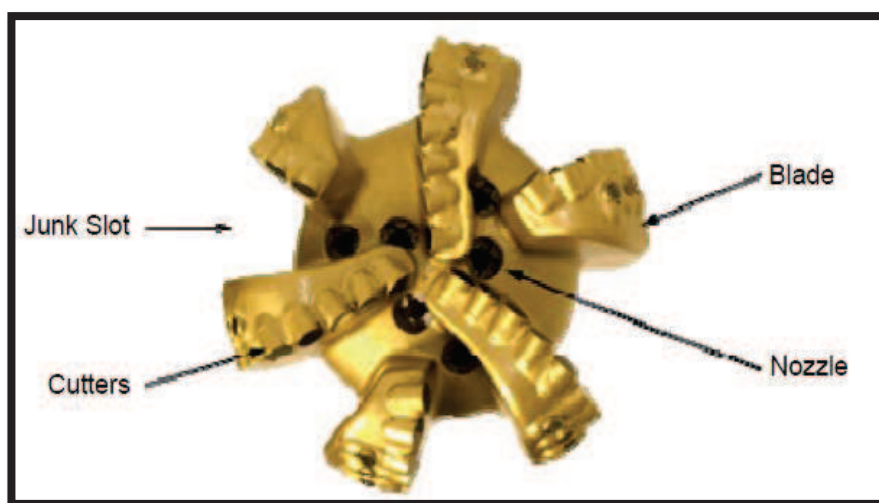
Las brocas PDC poseen distintos elementos de corte y sistemas hidráulicos, pero en general tienen los mismos componentes. Los tres componentes principales de una broca de diamante son:

- La estructura de Corte.

- El cuerpo o Corona.
- Espiga (shank).

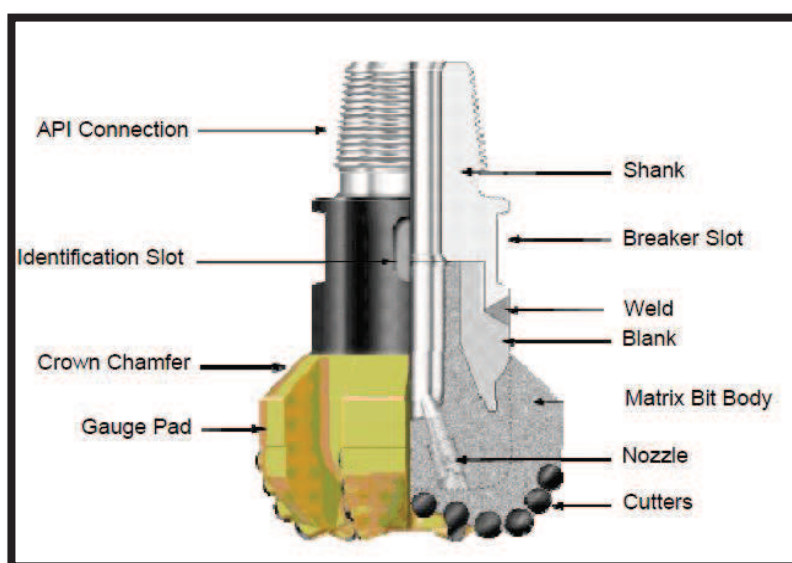
En las figuras 1.6 y 1.7, podemos observar los componentes de una broca PDC, en vista frontal y en corte transversal.

FIGURA 1.6 VISTA FRONTAL DE UNA BROCA PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

FIGURA 1.7 CORTE TRANSVERSAL DE UNA BROCA PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Estructura de corte

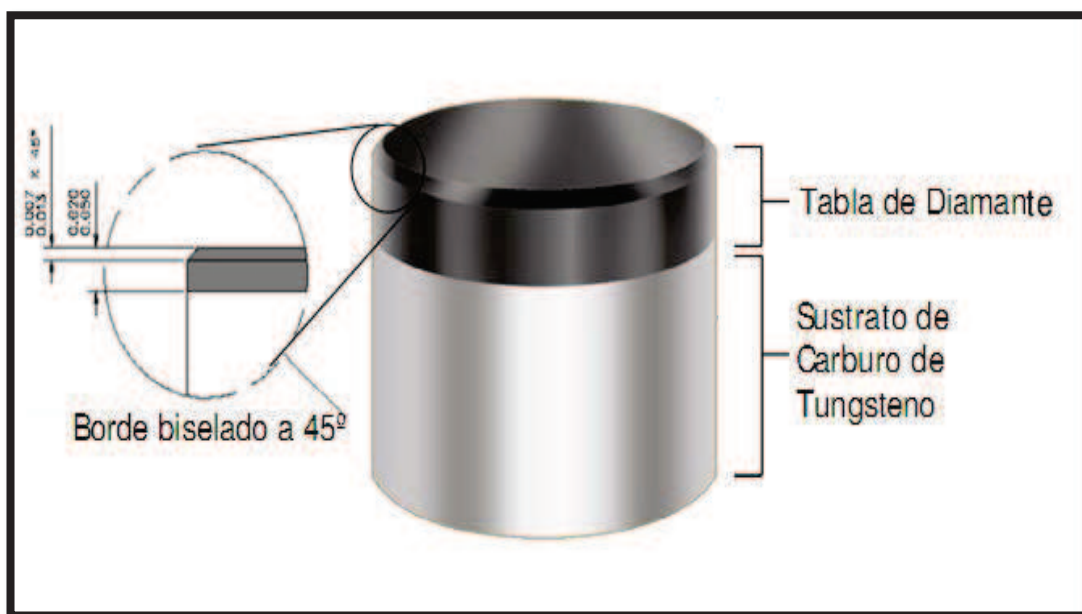
La estructura de corte está vinculada a la Corona pero es considerada un componente separado por la importancia de los elementos de corte en las aplicaciones de la broca.

Está constituida por diamantes sintéticos. El tipo de elemento de corte depende de la formación en la que se trabajará.

Cortadores PDC: Un cortador PDC consiste de una serie de diamantes sintéticos con un borde biselado de 45° unidos a un soporte de carburo de tungsteno cementado. Se sueldan en la broca después de haberse unido al cuerpo. Ver figura 1.8.

La durabilidad de un cortador dependerá de dos factores: la resistencia al impacto y a la abrasión.

FIGURA 1.8 CORTADOR PDC



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

Cuerpo o corona

El cuerpo de la broca puede estar fabricado de:

- Acero.
- Carburo de tungsteno.

Cuerpo de acero: Para que el cuerpo tenga buena resistencia el material utilizado debe ser un acero de alta aleación. Debido a que este material posee una resistencia a la abrasión y a la erosión menor que la matriz de carburo de tungsteno, es necesario proteger el acero con material duro (hardfacing) y de esta manera prolongar su vida útil.

Cuerpo de carburo de tungsteno: Este material es altamente resistente a la abrasión y a la erosión, se fabrica a partir de carburo de tungsteno en polvo, con una aleación de níquel-cobre que actúa como aglutinante. El cuerpo define la dirección en que circulan los fluidos (incluyendo los conductos interiores) y las áreas de los canales de limpieza, además que brinda soporte y protección a los cortadores.

Espiga (shank)

Este componente se fabrica en acero de alto porcentaje de aleación tratado térmicamente. Une la broca con la sarta de perforación.

Cuando las brocas son de cuerpo de acero el shank se suelda al cuerpo de la broca y en el caso de las de cuerpo de carburo de tungsteno es soldado a la estructura de sostén.

El código IADC para brocas PDC

La Asociación Internacional de Contratistas de Perforación (IADC), desarrollo un sistema de clasificación para las brocas PDC de cuatro caracteres (una letra y tres números), que se explica en la tabla 1.2:

TABLA 1.2: CÓDIGO IADC PARA BROCAS PDC

1er CARACTER		2do CARACTER			3er CARACTER			4to CARACTER						
TIPO DE CORTADOR	MATERIAL DEL CUERPO	PERFIL DEL CUERPO			DISEÑO HIDRAULICO			TAMAÑO Y DENSIDAD DE CORTADORES						
		ALTURA DEL FLANCO	ALTURA DEL CONO		DISTRIBUCION DE CORTADORES	TIPO DE ORIFICIO		TAMAÑO	DENSIDAD					
			Alta	Media		Baja	Toberas		Orificio fijo	Salida abierta	Alta	Media	Baja	
D	DIAMANTE NATURAL	MATRIZ	Alto	1	2	3	En Aletas	1	2	3	Grande	1	2	3
M	PDC	MATRIZ	Media	4	5	6	En Costillas	4	5	6	Mediano	4	5	6
S	PDC	ACERO	Baja	7	8	9	No agrupados	7	8	9	Pequeño	7	8	9
T	TSP	MATRIZ	0= de doble centro o asimétrico			R= Flujo radial X= Flujo cruzado O= Otro			0= Impregnado					

FUENTE: EP Petroecuador
ELABORADO POR: Walter Haro

1.1.3 APLICACIÓN

1.1.3.1 Brocas tricónicas

Las brocas tricónicas pueden cumplir con muchas aplicaciones gracias a su diseño. Son utilizadas en perforaciones de formaciones muy duras, muy abrasivas, blandas, pegajosas, plásticas y cualquier combinación de estas modificando los parámetros operativos para cada caso.

1.1.3.2 Brocas PDC

El diamante otorga a esta broca las propiedades de alta conductividad térmica y dureza extrema, pueden ser empleadas en perforaciones desde formaciones semiduras a duras y en algunas ocasiones formaciones suaves.

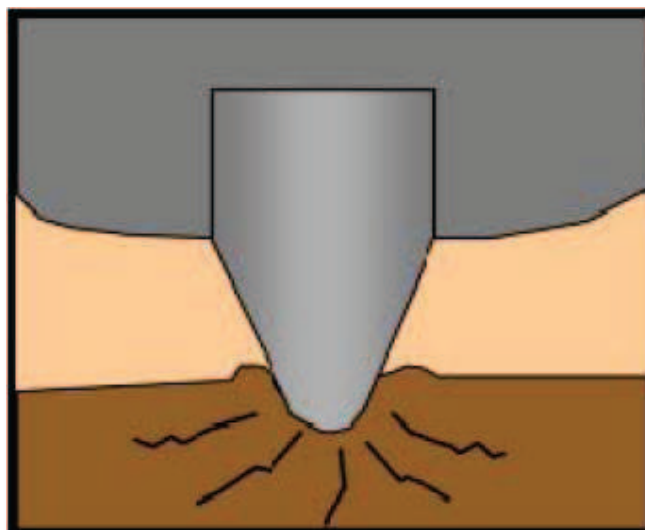
1.1.4 MECÁNICA DE CORTE

Durante la perforación de un pozo de petróleo la broca debe transmitir a la formación la energía suficiente para quebrar la roca y remover los recortes, las brocas tricónicas y PDC tienen distintas mecánicas de corte.

1.1.4.1 Mecánica de corte de las brocas tricónicas

La broca tricónica fractura la roca por compresión (trituración). Cuando se tritura la formación, se ejerce una carga perpendicular a la roca dando lugar a una serie de fracturas que se propagan radialmente desde el punto de contacto hacia el radio del hueco. La figura 1.9, muestra la fractura de corte de la roca por compresión.

FIGURA 1.9 FRACTURA DE LA ROCA POR COMPRESIÓN

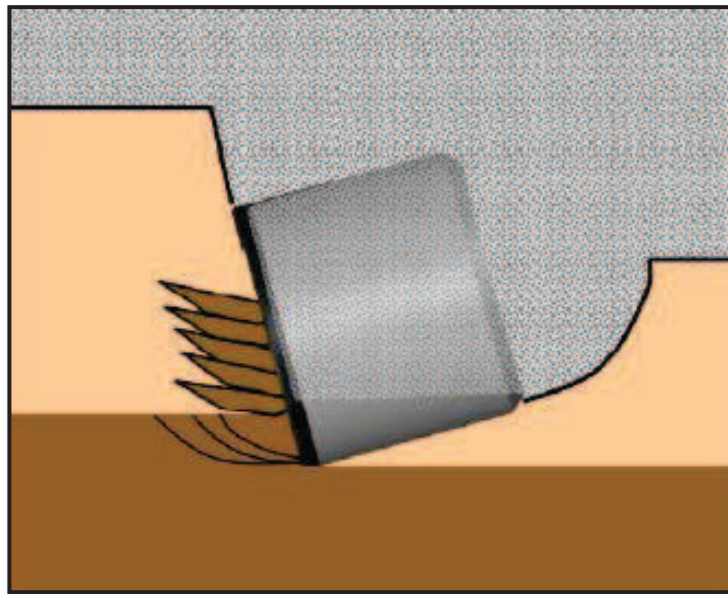


FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

1.1.4.2 Mecánica de corte de las brocas PDC

El cortador PDC fractura la roca por corte como lo muestra la figura 1.10. Durante esta acción la dirección de la carga y la fractura resultante son aproximadamente paralelas. A medida que el cortador penetra en la formación, su punta va cortando y removiendo el material por capas.

FIGURA 1.10 FRACTURA DE LA ROCA POR CORTE



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

1.1.5 DESGASTE DE LAS BROCAS

La asociación internacional de contratistas de perforación (IADC), instauró un código para evaluar el desgaste que se produce en las brocas en cada corrida. Todas las brocas deben ser evaluadas una vez que sale del pozo, dependiendo de su estado se puede decidir correrlas nuevamente.

La tabla 1.3, muestra el código de evaluación de desgaste IADC, este código cuenta con una serie de ocho casilleros que están distribuidos de la siguiente manera: cuatro casilleros para evaluar el estado de la estructura de corte, un casillero para evaluar los cojinetes en el caso de las brocas tricónicas, un casillero

evaluar para el calibre de la broca y dos casilleros para puntualizar observaciones adicionales, en el primero otro tipo de desgaste de la broca y el casillero final para expresar la razón por la cual fue retirada la broca.

En los dos primeros casilleros, el desgaste de los dientes internos y externos es calificado en un rango de 0 a 8, siendo 8 el mayor desgaste que puede sufrir un cortador o desgaste total y 0 representa que el cortador no tuvo desgaste alguno. El tercer casillero es para especificar la característica del desgaste y el cuarto para definir su ubicación.

En el quinto casillero se califica la condición de los cojinetes en caso de que la broca sea tricónica. En el sexto casillero se coloca la evaluación del calibre de la broca en dieciseisavos de pulgada. Se debe contar con el anillo de calibración correspondiente para evaluar el desgaste, como se muestra en la tabla 1.4.

El séptimo casillero especifica un desgaste secundario y finalmente en el octavo casillero se indica la razón por la cual fue retirada la broca del pozo en el estaba perforando.

1.1.5.1 Ejemplo de la evaluación del desgaste de las brocas.

La evaluación está basada en el código detallado en la tabla 1.3. La tabla 1.4 muestra la evaluación del desgaste de la broca tipo HC605Z, ocupada en los primeros 500 pies de perforación del pozo VHR 19D.

1.1.5.1.1 Estructura de corte

La hilera interior y la hilera exterior no presentan desgaste, la evaluación para los dos primeros casilleros es cero.

En el tercer casillero, la evaluación es “NO” porque la estructura de corte no presenta desgaste, en el cuarto casillero la ubicación es “A” porque las características del desgaste es en toda el área.

1.1.5.1.2 Cojinete

Este casillero es únicamente utilizado en la evaluación de las brocas tricónica, en este ejemplo la broca utilizada es PDC y se la detalla con la letra “X”.

1.1.5.1.3 Calibre

La broca evaluada está totalmente en calibre, sin ningún daño, el código en este caso es la letra “I”.

1.1.5.1.3 Observaciones



No cuenta con observaciones adicionales “NO”, y la razón de sacar la broca del fondo es un cambio de BHA establecido.

TABLA 1.3: CÓDIGO DE EVALUACIÓN DE DESGASTE IADC

FORMATO DE EVALUACIÓN DE DESGASTE IADC							
ESTRUCTURA DE CORTE				COJINETE	CALIBRE	OBSERVACIONES	
HILERA INTERIOR	HILERA EXTERIOR	CARACT. DESGASTE	UBICACIÓN	COJINETE/ SELLO	[1/16 in]	OTRAS	RAZON DE LA SALIDA
Desgaste de los cortadores 0- Sin desgaste * * 8-Desgaste total		Ubicación del desgaste C-cono N-nariz S-hombro G-Gauge A-toda el área N-nariz M-fila media H-fila externa		Cojinete 0- Sin desgaste * * 8-Desgaste total X-Broca PDC		Razon de la salida BHA-cambio BHA DMF- Falla motor LOG- registros RIG-Equipo CM- Lodo CP-Punto de core FM- Formación HR-Horas de P. PP- Presión bomba PR-ROP TD-Profundidad T. TQ-Torque WC-C. Climaticas WO-Wash out	
Características del desgaste *BC- Cono roto BF- Falla enlace BT-Diente roto BU- Embalada *CC-Cono agrietado *CI-interferencia ER-Erosión JD-Daño por basura *LC-Cono perdido LN- Boquilla perdida WO-Daño boquilla WT-Desgaste diente NO-Sin desgaste *Broca triconica		Calibre I-Sin daño 1-1/16 fuera de calibre 2-2/16 fuera de calibre					

ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 1.4: EVALUACIÓN DEL DESGASTE DE LA BROCA HC605Z

Broca Tipo:				HC605Z			
							
ESTRUCTURA CORTADORA				COJINETE	CALIBRE	OBSERACIONES	
HILERA INTERIOR	HILERA EXTERIOR	CARAT. DESGASTE	UBICACIÓN	COJINETE SELLO	GAUGE CALIBRE	OTRAS CARACTERIST.	RAZON DE SALIDA
0	0	NO	A	X	I	NO	BHA

FUENTE: Baker Hughes

ELABORADO POR: Walter Haro

1.2 PERFORACIÓN DIRECCIONAL

1.2.1 INTRODUCCIÓN

Para la correcta selección de una broca de perforación, se debe tomar en cuenta el tipo de perfil direccional diseñado para la perforación de un pozo de petróleo ya que es parte fundamental del esquema mecánico del mismo.

1.2.2 DEFINICIÓN

Es la técnica que consiste en conducir la perforación de un pozo a través de una trayectoria predeterminada, para alcanzar un objetivo (target) en el subsuelo.

1.2.3 PERFORACIÓN BAJO BALANCE

La perforación bajo balance, se define como la perforación intencional de una formación cuya presión excede la presión hidrostática que ejerce la columna del fluido de perforación. Es utilizada para mejorar el ROP, disminuye los riesgos de

pega diferencial y pérdida de circulación, protege las formaciones productoras. Este tipo de perforación se la utiliza para reducir el costo total de la perforación de un pozo de petróleo y para producir un reservorio. En el capítulo 2 se detallan las ventajas y desventajas de la perforación bajo balance durante la selección de las brocas de perforación.

1.2.4 CLASIFICACIÓN DE POZOS DIRECCIONALES

Los tres tipos de configuraciones de pozos direccionales comúnmente conocidos se muestran en la figura 1.11 y estos son:

- Perfil S.
- Perfil J.
- Perfil Horizontal.

1.2.4.1 Pozo con perfil S

La perforación inicia en sentido vertical; posteriormente se desvían siguiendo un ángulo máximo determinado que se mantiene hasta una profundidad establecida, desde este punto se conduce nuevamente a la vertical, disminuyendo el ángulo, alcanzando el objetivo final.

1.2.4.2 Pozo con perfil J

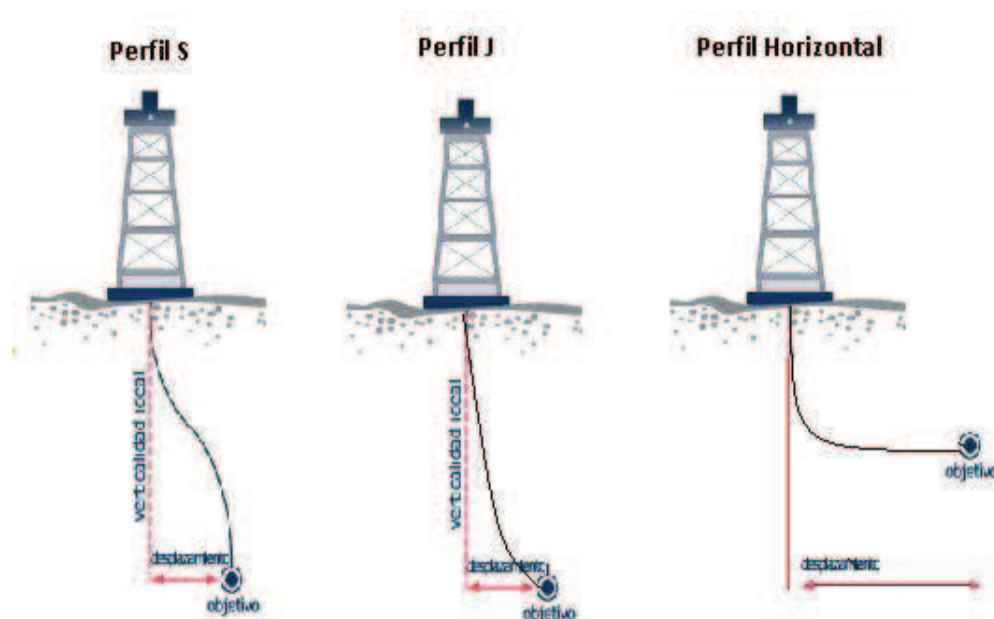
Esta trayectoria es similar al perfil S con la diferencia de que no presenta la parte final correspondiente a la caída del ángulo. En un perfil J, el ángulo máximo que se construye desde la vertical a la profundidad establecida se llega al objetivo final (target).

1.2.4.3 Pozo con perfil horizontal

A diferencia de los anteriores perfiles direccionales, el ángulo de desviación con respecto a la vertical se construye desde una profundidad establecida, a partir de

la cual se va incrementando hasta llegar a los 90° de desviación de la vertical, alcanzando el sentido horizontal.

FIGURA 1.11 PERFILES DE POZOS DIRECCIONALES



ELABORADO POR: Walter Haro

1.3 MECÁNICA DE ROCAS²

Dentro del proceso de selección de una broca está envuelto el concepto del comportamiento mecánico de las rocas y las constantes elásticas dinámicas de una determinada formación.

La Academia Nacional de las Ciencias define la mecánica de rocas como: “La ciencia teórica y aplicada del comportamiento mecánico de la roca. Es una rama de la mecánica que trata con la respuesta de la roca a un campo de fuerzas aplicado en su medio ambiente físico.”

La investigación de la mecánica de rocas debe cubrir un amplio panorama, no solo por las varias ramas de ingeniería involucradas, sino a los muchos materiales

² Información tomada del capítulo III del PDF Barrenas e Hidráulica de perforación.

clasificados como “roca”. Algunas pueden mostrar una naturaleza elástica y quebradiza a miles de libras por pulgada mientras otras pueden ser poco elásticas a una presión muy inferior.

1.3.1 MINERALOGÍA

Es la ciencia que estudia la composición química, estructura cristalina y propiedades físicas de los minerales. Un mineral es un sólido cristalino homogéneo formado por procesos inorgánicos de la naturaleza.

La tabla 1.5 muestra las propiedades físicas de algunos minerales encontrados durante la perforación.

TABLA 1.5: PROPIEDADES FÍSICAS DE ALGUNOS MINERALES

Mineral	Dureza [MOHS]	Densidad	Color
Barita	3.0-3.5	4.3-4.7	Gris
Calcita	3	2.72	Blanca o Amarilla
Clorita	1.0-2.5	2.6-3.0	Verde pasto
Dolomita	3.5-4.0	2.9	Comunmente blanco
Yeso	2	2.2-2.4	Blanco
Halita	2.0-2.5	2.1	Blanco
Kaolinita	1.0-2.0	2.2-2.6	Blanco
Pirita	6.0-6.5	4.9-5.2	Amarillo

FUENTE: Barrenas e hidráulica de perforación.

ELABORADO POR: Walter Haro

1.4 REOLOGÍA

Reología es la ciencia que trata de la deformación y del flujo de la materia, bajo diversas condiciones, incluyendo la temperatura, la presión y la velocidad de corte.

1.4.1 VISCOSIDAD

La viscosidad se puede describir como la resistencia al flujo de una sustancia. En el campo petrolífero, los términos a continuación se usan para describir las propiedades reológicas del fluido de perforación:

- Viscosidad embudo (seg/qt o seg/l).
- Viscosidad plástica (cP o mPa•seg).
- Punto cedente (lb/100 pies² o Pa).
- Viscosidad a baja velocidad de corte (cP o mPa•sec).
- Esfuerzos de gel (lb/100 pies² o Pa).

1.4.2 ESFUERZO DE CORTE Y VELOCIDAD DE CORTE

Esfuerzo de corte. Se puede describir como un esfuerzo de fricción que aparece cuando una capa de fluido se desliza encima de otra. El esfuerzo de corte es la fuerza requerida para mantener la velocidad de corte.

La velocidad a la cual una capa pasa por delante de la otra capa se llama velocidad de corte

1.4.3 VISCOSIDAD PLÁSTICA

La parte de la resistencia al flujo que es causada por la fricción mecánica. Altas concentraciones de sólidos llevan a una alta fricción que aumentará la viscosidad plástica. Disminuir el tamaño de los sólidos a volumen constante aumenta también la viscosidad plástica, debido a un aumento en el área de contacto entre las partículas que aumenta la fricción.

1.4.4 PUNTO CEDENTE

Es una medida de las fuerzas electroquímicas o de atracción en un fluido, también se lo conoce como "Yield Point". Es la resistencia al flujo causada por fuerzas electroquímicas entre partículas sólidas del fluido de perforación.

Es consecuencia de las cargas eléctricas sobre la superficie de las partículas dispersas en la fase fluida.

1.4.5 VISCOSIDAD A BAJA VELOCIDAD DE CORTE

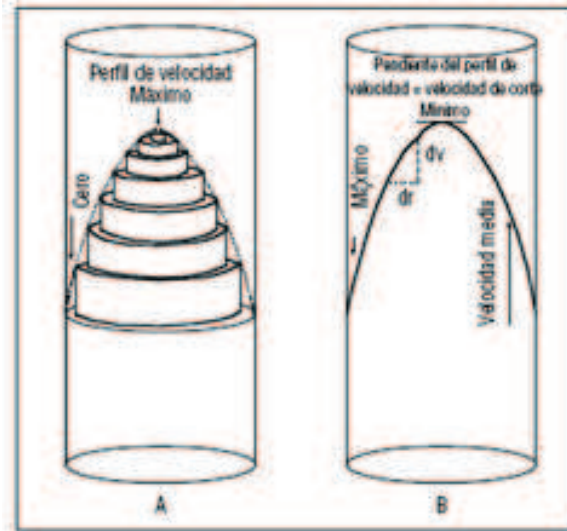
A través de numerosos estudios de laboratorio y en base a la experiencia de campo, se ha determinado que los valores de viscosidad a baja velocidad de corte (6 y 3 RPM) tienen un mayor impacto sobre la limpieza del pozo que el punto cedente.

1.4.6 TIXOTROPÍA Y ESFUERZOS DE GEL

La tixotropía es la propiedad demostrada por algunos fluidos que forman una estructura de gel cuando están estáticos, regresando luego al estado de fluido cuando se aplica un esfuerzo de corte. La magnitud de la gelificación, así como el tipo de esfuerzo de gel, es importante en la suspensión de los recortes y del material densificante. No se debe permitir que la gelificación alcance un nivel más alto del necesario para cumplir estas funciones.

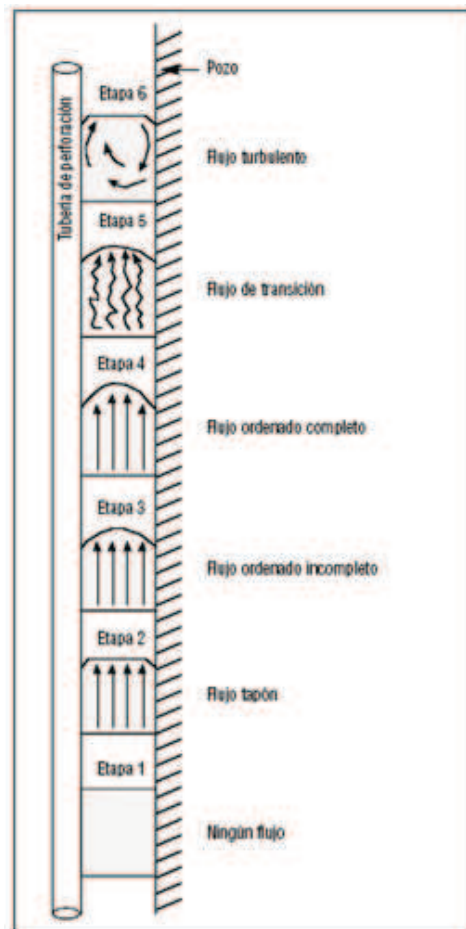
La figura 1.12, muestra la velocidad de un fluido Newtoniano y la figura 1.13 las etapas de flujo de un fluido.

FIGURA 1.12 VELOCIDAD DE UN FLUIDO NEWTONIANO



FUENTE: Reología e Hidráulica

FIGURA 1.13 ETAPAS DE FLUJO



FUENTE: Reología e Hidráulica

1.5 HIDRÁULICA DE PERFORACIÓN³

En cuanto a la hidráulica de perforación, el fluido tiene como función la limpieza del fondo del pozo y acarreo de los recortes hasta superficie. La capacidad de la remoción de recortes por los fluidos de perforación está en función de la presión de salida de las toberas y del gasto de circulación. En el capítulo 3, se realiza la simulación hidráulica para determinar los parámetros óptimos para cada una de las brocas.

Cuando la potencia hidráulica, debido a la presión por gasto, es máxima, la capacidad de remoción será óptima.

El gasto de circulación es proporcional a la velocidad de fluido de perforación a la salida de las toberas, por otro lado, la presión representa la energía necesaria para impulsar la masa de fluido contra el fondo del pozo.

La máxima potencia hidráulica de la broca depende de la efectividad de la bomba, debido a que la velocidad de la penetración aumenta. Una vez que se llega al nivel de “limpieza perfecta” (recortes que se levantan del fondo a medida que se generan), cualquier incremento en la potencia hidráulica deja de afectar un aumento en los avances.

El diseño de un óptimo programa hidráulico de perforación debe cumplir con los siguientes objetivos:

- Incrementar la velocidad de penetración, en función de una efectiva limpieza del fondo del agujero.
- Evitar o disminuir la excesiva erosión de las paredes del agujero, y no provocar derrumbes o deslaves.
- Controlar las pérdidas de presión en el sistema de circulación.

³ Información tomada del Capítulo 4 del libro: Baker Hugues INTEQ “Manual de ingeniería”, 2001.

Se debe considerar que las propiedades del fluido de perforación en un cálculo hidráulico son importantes, si se presentan altas densidades o viscosidades, se conoce que los efectos sobre las pérdidas de presión por fricción son altos.

El caudal mínimo para limpiar el hueco es de 30 gpm por pulgada de diámetro del hueco, por ejemplo en un hueco de 8 ½" de diámetro necesita un caudal de 255 gpm. Así mismo el caudal máximo por pulgada de diámetro es de 50 gpm.

1.5.1 HIDRÁULICA DE LA BROCA

Se realiza varios cálculos de hidráulica para mejorar el rendimiento de la perforación. Estos son cálculos de potencia hidráulica, fuerza de impacto y velocidad del chorro.

1.5.1.1 Pérdida de presión en la broca

La pérdida de presión en la broca se calcula con la fórmula 1.1.

$$P_{broca} = \frac{156\rho Q^2}{(D_{n1}^2 + D_{n2}^2 + D_{n3}^2 + \dots)^2} \quad (1.1)$$

Para las brocas de cortadores de diamante, el área de flujo total (TFA) y los factores de conversión son sustituidos para obtener la ecuación 1.2

$$P_b(\text{psi}) = \frac{\rho Q^2}{10.858 (TFA)^2} \quad (1.2)$$

Donde:

P_b = pérdida de presión de la broca [psi]

ρ = densidad [lb/gal]

Q = caudal [gpm]

TFA = área de flujo total [in²]

1.5.1.2 Potencia Hidráulica

La potencia hidráulica “hpp” tiene un intervalo recomendado para la mayoría de brocas, este es de 2.5 a 5.0 caballos de fuerza por pulgada cuadrada (HSI) del área de la broca.

Tener una potencia hidráulica baja en la broca puede traer como consecuencia un deficiente rendimiento de la broca y por lo tanto bajas ratas de penetración.

$$hhp_b = \frac{QP_b}{1714} \quad (1.3)$$

Donde:

hhp_b = potencia hidráulica de la broca

La potencia hidráulica por pulgada cuadrada del área de la broca se calcula con la fórmula 1.1.

$$HSI = \frac{1.27 * hhp_b}{\text{Tamaño de la broca}^2} \quad (1.4)$$

Donde:

hhp_b = potencia hidráulica de la broca

Tamaño de la broca = diámetro de la broca [in]

1.5.1.3 Velocidad de la tobera

La velocidad de la tobera en una broca siempre será la misma sin importar que varíe el tamaño de las toberas. Las velocidades de tobera recomendadas en la mayoría de brocas es de 250 a 450 pies/seg, velocidades mayores a este intervalo pueden desgastar la estructura de corte de la broca.

$$V_n = \frac{417.2 * Q}{D_{n1}^2 + D_{n2}^2 + D_{n3}^2 + \dots} \quad (1.5)$$

Donde:

V_n = velocidad de la tobera tobera [ft/seg]

1.5.1.4 Fuerza de impacto (IF)

Es la velocidad de la tobera por el caudal por la densidad del fluido de perforación medida en libras.

$$IF = \frac{V_n Q \rho}{1.930} \quad (1.6)$$

Donde:

IF = fuerza de impacto [lb]

La fuerza de impacto por pulgada cuadrada (psi) es:

$$IF = \frac{1.27 * IF(lb)}{\text{Tamaño de la broca}^2} \quad (1.7)$$

1.5.1.5 Porcentaje de pérdida de presión en la broca

En general cuando se utiliza entre el 50% y el 65% de la presión superficial en la broca se obtiene una hidráulica adecuada.

$$\%P_b = \frac{P_b}{PSI_{superficie}} * 100 \quad (1.8)$$

1.5.1.6 Potencia hidráulica del sistema

Se utiliza como criterio de comparación de la eficiencia del programa hidráulico.

$$hpp_{sistema} = \frac{PSI_{superficie} * Q}{1714} \quad (1.9)$$

1.5.2 CAÍDAS DE PRESIÓN

Para cumplir con el objetivo de un análisis hidráulico se debe calcular el las caídas de presión que existen en el espacio anular como también en la sarta de perforación.

1.5.2.1 Caída de presión en el anular

Para calcular la caída de presión en el anular a lo largo de todo el pozo en cada una de sus secciones se debe seguir el siguiente procedimiento.

- Conocer la geometría del pozo, es decir el diámetro del hueco, diámetros internos y externos de la tubería de revestimiento y los diámetros internos y externos de la sarta de perforación.
- Calcular la velocidad del fluido.

$$V_a = \frac{0.408 * Q}{D_2^2 - D_1^2} \quad (1.10)$$

Donde:

V_a = Velocidad anular del fluido en el intervalo [ft/seg].

Q = Caudal de fluido [gpm].

D_2 = Diámetro interno del hueco.

D_1 = Diámetro externo de la tubería de perforación [in].

- Calcular el índice de comportamiento de flujo n_a .

$$n_a = 0.5 \log \frac{\theta_{300}}{\theta_3} \quad (1.11)$$

Donde:

Θ_{300} = medidor V-G, lectura para 300 rpm.

Θ_3 = medidor V-G, lectura para 3 rpm.

- Calcular el factor de consistencia anular k_a [poise].

$$k_a = \frac{5.11 * \theta_{300}}{511^{n_a}} \quad (1.12)$$

- Calcular la viscosidad efectiva μ_{ea} [cp].

$$\mu_{ea} = 100 * k_a \left[\frac{144 * V_a}{D_2 - D_1} \right]^{n_a - 1} \quad (1.13)$$

- Calcular el número de Reynolds Re_a .

$$Re_a = \frac{928 V_a (D_2 - D_1) \rho}{\mu_{ea} \left[\frac{2n_a + 1}{3n_a} \right]^{n_a}} \quad (1.14)$$

Donde:

ρ = densidad del fluido [lbs/gal]

- Calcular el factor de fricción f_a .

$$f_a = \frac{(\log(n_a) + 3.93) / 50}{Re_a^{[(1.75 - \log(n_a)) / 7]}} \quad (1.15)$$

- Calcular la caída de presión P_a , para cada sección del pozo.

$$P_a = \frac{f_a V_a^2 \rho}{25.81 (D_2 - D_1)} * L \quad (1.16)$$

Donde:

L = longitud del intervalo (ft)

La pérdida total de de presión en el anular es la sumatoria de la perdida en el anular de cada sección del pozo.

$$P_{aT} = \sum P_a \quad (1.17)$$

1.5.2.2 Caída de presión en la sarta de perforación

- Calcular la velocidad del fluido en la tubería de perforación V_p .

$$V_p = \frac{0.408 * Q}{D^2} \quad (1.18)$$

Donde:

D = Diámetro interno de la tubería de perforación [in].

- Calcular el índice de comportamiento de flujo n_p .

$$n_p = 3.32 \log \frac{\theta_{600}}{\theta_{300}} \quad (1.19)$$

Donde:

Θ_{600} = medidor V-G, lectura para 600 rpm.

- Calcular el factor de consistencia en la tubería k_p [poise].

$$k_p = \frac{5.11 * \theta_{600}}{1022^{n_p}} \quad (1.20)$$

- Calcular la viscosidad efectiva μ_{ep} [cp].

$$\mu_{ep} = 100 * k_p \left[\frac{96V_p}{D} \right]^{n_p - 1} \quad (1.21)$$

- Calcular el número de Reynolds Re_p , para el intervalo de la tubería.

$$Re_p = \frac{928V_p D \rho}{\mu_{ep} \left[\frac{2n_p + 1}{3n_p} \right]^{n_p}} \quad (1.22)$$

- Calcular el factor de fricción f_p .

$$f_p = \frac{(\log(n_p)+3.93)/50}{Re_p^{[(1.75-\log(n_p))/7]}} \quad (1.23)$$

- Calcular la caída de presión P_p , para cada sección del pozo.

$$P_p = \frac{f_p V_p^2 \rho}{25.81 D} * L \quad (1.24)$$

La pérdida total de de presión en la sarta de perforación es la sumatoria de la pérdida de cada sección del pozo.

$$P_{pT} = \sum P_p \quad (1.25)$$

1.5.2.3 Optimización de la hidráulica

La optimización de la hidráulica se utiliza para dimensionar el tamaño de las boquillas de la broca para lograr una limpieza óptima del hoyo mediante un caballaje hidráulico máximo, maximizando la fuerza de impacto del fluido en la formación, para mejorar la rata de penetración.

- Establecer la presión disponible para la selección de la boquilla.

$$P_B = P_{MAX} - P_{aT} - P_{pT} - P_S \quad (1.26)$$

Donde:

P_B = Pérdida de presión en la broca, [psi].

P_{MAX} = Presión máxima del tubo vertical, [psi].

P_{aT} = Pérdida total de presión en el anular, [psi].

P_{pT} = Pérdida total de presión en la sarta de perforación, [psi].

P_S = Pérdida de presión del sistema superficial, [psi].

- Calcule el área total óptima de las boquillas.

$$A_t = \frac{Q}{2.96 \left[\frac{(1238.5)C(P_B)}{\rho} \right]^{\frac{1}{2}}} \quad (1.27)$$

Donde:

A_t = Área total óptima de las boquillas, [in²]

C = una constante

- 0.65 para HHP máximo.
 - 0.48 para fuerza de impacto máxima.
 - 0.59 para una solución intermedia HHP-fuerza de impacto.
- Calcular los tamaños de las boquillas, [1/32 in].

$$J_1 = \left[\frac{1303.797}{N} * A_t \right]^{1/2} \quad (1.28)$$

$$J_3 = \left[\frac{1303.797}{N-2} * \left(A_t - \frac{J_1^2 + J_2^2}{1303.797} \right) \right]^{1/2} \quad (1.29)$$

$$J_4 = \left[\frac{1303.797}{N-3} * \left(A_t - \frac{J_1^2 + J_2^2 + J_3^2}{1303.797} \right) \right]^{1/2} \quad (1.30)$$

$$J_N = \left[\frac{1303.797}{1} * \left(A_t - \frac{J_1^2 + \dots + J_{N-1}^2}{1303.797} \right) \right]^{1/2} \quad (1.31)$$

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS

2.1 INTRODUCCIÓN

Durante el proceso de selección de las brocas adecuadas para perforar un pozo de petróleo se deben analizar un gran número de variables que tienen influencia entre sí. Por lo tanto se necesita obtener la siguiente información:

- Las formaciones que atraviesa el pozo y sus espesores.
- El desgaste de brocas anteriormente utilizadas.
- El desempeño de las brocas en perforaciones de pozos vecinos.
- Los registros geofísicos de pozos vecinos y del mismo pozo (si se tienen).
- Los fluidos de perforación apropiados en función de la broca elegida.
- Hidráulica y optimización de las brocas.

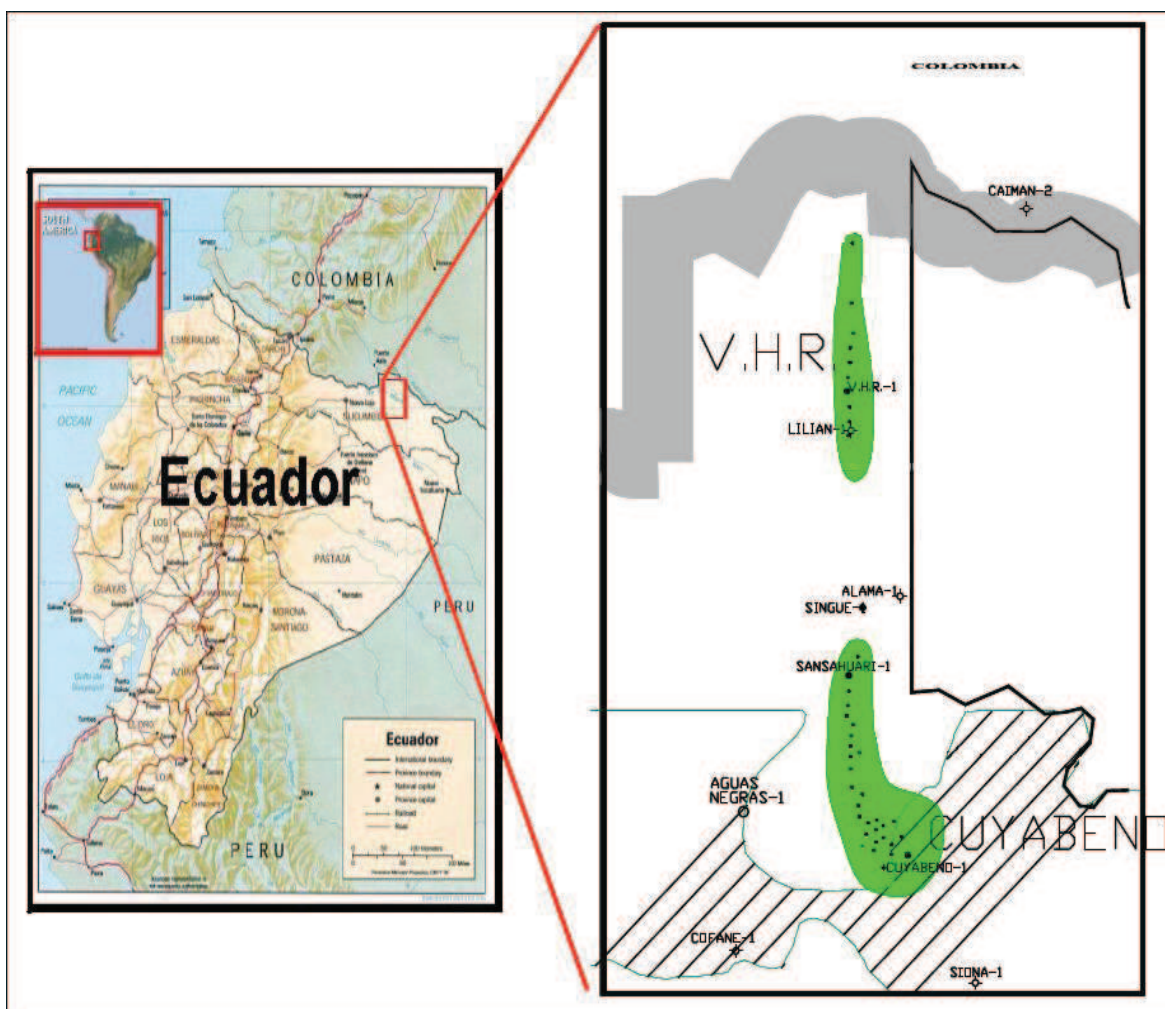
2.2 GENERALIDADES DE LOS CAMPOS

Los campos Cuyabeno y V.H.R, ubicados en la región Amazónica Ecuatoriana al Nororiente del país, provincia de Sucumbios, cantón Lago Agrio. La figura 2.1, muestra la ubicación geográfica del campo Cuyabeno-VHR.

El campo Cuyabeno, descubierto mediante la perforación del pozo CUY-01 por la compañía Texaco en el año de 1972 con una producción de 648 BPPD de 26° API del reservorio U. El campo pasó a manos de PETROECUADOR en 1984.

El campo VHR, anteriormente llamado Cantagallo, fue uno de los mayores éxitos de exploración de Petroproducción (Ex-CEPE) en el año de 1988, el mismo que incorporó 4500 BPPD a la producción nacional a través de los 9 pozos que se encontraban en producción.

FIGURA 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA CAMPO CUYABENO-VHR



FUENTE: Grupo Cuyabeno, EP Petroecuador.

2.2.1 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL CAMPO CUYABENO

El campo Cuyabeno, está ubicado en la región Amazónica Ecuatoriana, al norte de la provincia de Sucumbios, cantón Lago Agrio, aproximadamente a 23 Km al noreste de la población de Tarapoa, específicamente en la Reserva Faunística del Cuyabeno.

Los límites de Cuyabeno son: al norte el campo Sansahuari, al sur Tarapoa y el campo Libertador al oeste.

2.2.1.1 Estratigrafía

El campo Cuyabeno, tiene una estratigrafía que está constituida por rocas que corresponden al periodo Cretácico Medio Superior representadas por sus arenas principales: U inferior, U superior y T superior, pertenecientes a la formación Napo.

2.2.1.1.1 Basamento

Cuarzoso, rosado, café amarillo claro, sub-translúcido fragmentos angulosos a sub-angular, asociado con feldespatos y clorita. Tiene un espesor promedio de 60 pies.

2.2.1.1.2 Formación Hollin

La formación Hollin tiene un espesor promedio de 50 pies, se presenta como una arenisca cuarzosa, clara, translúcida a sub-translúcida, suelta, grano fino a medio, sub-redondeado a sub-angular, buena a regular selección, matriz no visible, porosidad no visible. Pobre manifestación de hidrocarburos.

2.2.1.1.3 Formación Napo

Está constituida por niveles de areniscas y calizas con intercalaciones de lutitas oscuras con un espesor aproximado de 912 pies. La arenisca U entre sus tres niveles denominados U superior, U medio y U inferior, tiene un espesor de 140 pies aproximadamente. Por otro lado la arenisca T se subdivide en dos niveles: T superior y T inferior.

2.2.1.1.4 Formación Tena

Esta formación tiene un espesor promedio de 364 pies litológicamente está compuesta por arenisca cuarzosa, clara en parte gris clara, grano fino a muy fino, sub-redondeado a sub-angular, suelta, en parte moderadamente consolidada, regular selección, en parte matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo.

2.2.1.1.5 Formación Tiyuyacu

La formación Tiyuyacu presenta un espesor promedio de 1510 pies, ambiente continental, litológicamente está constituida por arcillolita café rojiza, conglomerado cuarzoso, limolita gris clara y arenisca cuarzosa amarillenta.

2.2.1.2 Estructura

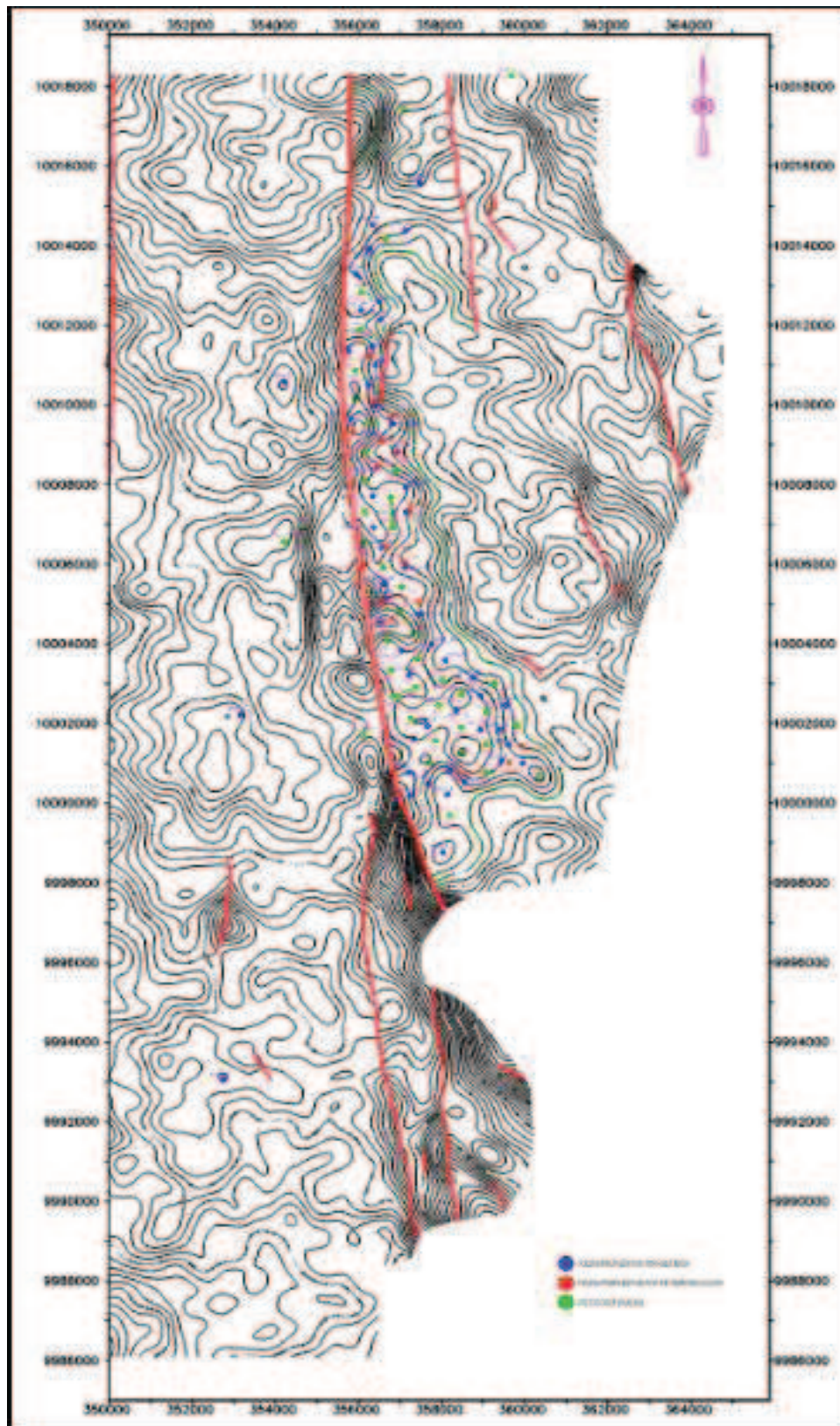
El campo Cuyabeno, es un anticlinal alargado. El pliegue se encuentra cortado al oeste por una falla inversa de carácter sellante y representa el límite oeste de los yacimientos. Su estructura presenta dos altos en los cuales se han perforado pozos del campo Cuyabeno y Sansahuari.

Es una estructura enlongada en dirección N-SSE, aproximadamente 16 Km de longitud que se ensancha en dirección sur. Tiene al menos cinco culminaciones o altos niveles de la base Caliza. Se conforma como resultado de una inversión tectónica durante el eoceno temprano a medio, la deformación sedimentaria de Tiyuyacu inferior evidencia un aporte de cambio de espesor entre la parte alta y el flanco occidental de la estructura. Las primeras interpretaciones estructurales mostraban dos estructuras independientes, una septentrional denominada Sansahuari, y otra meridional a la que se la denominó Cuyabeno, sobre ambas se perforan pozos exploratorios.

Se realiza una adquisición de sísmica 2D en los años 1991 y 1992 que permitió realizar nuevos estudios geológicos, llegando a definir que las estructuras Cuyabeno-Sansahuari son una sola, esto se pudo confirmar con la perforación de los pozos de avanzada Cuyabeno-21 y Sansahuari-10 a finales del año 1995.

En el año 2009, se realiza un estudio de sísmica 3D, y se comprueba que el sector oriente del campo, por causa de la presión, forma las estructuras Cuyabeno-Sansahuari y Singue. Después de la interpretación geológica, se concluye que estas estructuras son una sola, consecuentemente se incluye los campos VHR y Bloque 27 en el Área de Cuyabeno desde este año. La figura 2.2, muestra el mapa estructural del campo Cuyabeno en profundidad tope U superior con un intervalo de contorno de diez pies.

**FIGURA 2.2 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO CUYABENO,
PROFUNDIDAD TOPE “U” SUPERIOR**



FUENTE: EP Petroecuador.

2.2.1.3 Descripción de los principales yacimientos

El campo Cuyabeno tiene 5 niveles de interés, “T” superior, “T” inferior, “U” superior, “U” media, “U” inferior. La figura 2.3, muestra la columna estratigráfica del campo Cuyabeno.

2.2.1.3.1 Arenisca T inferior

Constituida por arenisca cuarzosa, blanca a blanca crema, transparente, translúcida, de grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, buena a regular selección, friable en parte moderadamente consolidada, ocasionalmente matriz arcillosa.

2.2.1.3.2 Arenisca T superior

Compuesta por arenisca cuarzosa crema a café clara, sub-transparente, sub-translúcida, grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, buena a regular selección, friable a moderadamente consolidada, matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo con inclusiones de glauconita.

2.2.1.3.3 Arenisca U inferior

Compuesta por arenisca cuarzosa, crema a café clara, transparente, translúcida, grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, friable a moderadamente consolidada, regular selección, matriz no visible, cemento ligeramente calcáreo.

2.2.1.3.4 Arenisca U media

Constituida por arenisca cuarzosa, crema a blanca crema, transparente, translúcida, grano fino, menor grano medio, sub-angular a sub-redondeada, friable a moderadamente consolidada, ocasionalmente matriz arcillosa.

2.2.1.3.5 Arenisca U superior

Compuesta por arenisca cuarzosa, crema a blanca crema, transparente, translúcida, grano fino a medio, sub-redondeada a sub-angular, friable a moderadamente consolidada, regular selección, matriz arcillosa, cemento ligeramente calcáreo, con inclusiones de glauconita.

FIGURA 2.3 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO CUYABENO

CRONO-ESTRATIGRAFIA		FORMACION	LITOLOGIA	MIEMBRO
■	PLIOCENO			
	MIOCENO	CHALCANA		CHALCANA SUPERIOR CHALCANA INFERIOR
■	OLIGOCENO	ORTEGUAZA		ORTEGUAZA
	EOCENO	TIYUYA CU		CONGL. INFERIOR TIYUYA CU
	PALEOCENO	TENA		BASE CONGL. INFERIOR TENA ARENISCA BASAL TENA
■	TARDIO	NAPO		NAPO
				CALIZA "M1"
				CALIZA "M2"
	TEMPRANO			CALIZA "A"
				ARENISCA "U" SUPERIOR
				ARENISCA "U" MEDIO
				ARENISCA "U" INFERIOR
				BASE "U" INFERIOR
				CALIZA "B"
				ARENISCA "T" SUPERIOR
	ARENISCA "T" INFERIOR			
	BASE "T" INFERIOR			
	CALIZA "C"			
	HOLLIN		HOLLIN SUPERIOR	
			PRE-K	

FUENTE: EP Petroecuador.
ELABORADO POR: EP Petroecuador.

2.2.1.4 Características de la roca y del fluido

Las características de la roca y del fluido, están representadas por valores conseguidos de análisis de núcleos y pruebas de presión, estos datos son indicativos de la presencia de hidrocarburo en la formación, y en qué relación se encuentra distribuida con otros fluidos dentro del reservorio. La tabla 2.1, muestra estos datos.

El campo Cuyabeno, produce de la arena U un crudo de 26° API y de la arena T de 29° API, este varía dependiendo al contenido de azufre.

TABLA 2.1 CARACTERISTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO CUYABENO

PARÁMETROS	Us	Um	Ui	Ts	Ti
Presión de reservorio, Pr [psi]	3243	3270	3270	3388	3388
Presión actual, [psi]	2800	2800	2800	3000	3000
Presión de burbuja, Pb [psi]	570	690	690	1005	1005
Factor de recobro, [%]	24.7	23	24	32	25
Gravedad específica del petróleo [°API]	24.5	27.3	27.3	29.4	29.4
Saturación de agua inicial, Swi [%]	32.8	22.2	22.2	25.3	44.9
Porosidad, ϕ [%]	17	19	19	17	17
Permeabilidad, K, [md]	451	233	233	235	250
Factor volumétrico de petróleo, β_{oi} [bls/BF]	1.158	1.186	1.186	1.219	1219
Temperatura de yacimiento, [°F]	194	203	203	205	205
Viscosidad de petróleo, μ_o @ T.F. [cp]	3.5	3.22	3.22	1.58	1.58
Relación gas petróleo, GOR [PCS/BF]	155	185	185	357	357

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO Walter Haro.

2.2.2 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DEL CAMPO V.H.R.

El campo V.H.R. está ubicado en el Nororiente del país, provincia de Sucumbios, cantón Lago Agrio, entre los ríos San Miguel y Putumayo.

2.2.2.1 Estratigrafía

El campo V.H.R. tiene una estratigrafía que está constituida por rocas que van en edad desde el Pre-Cámbrico hasta el Cuaternario, representadas por las siguientes formaciones.

2.2.2.1.1 Basamento Cristalino (Pre- Cámbrico)

Pertenece al paleoalto estructural que separa la subcuenca Putumayo de la subcuenca Napo, se encuentra a una profundidad promedio a nivel de campo de 8250 pies.

2.2.2.1.2 Formación Hollin

La formación Hollin tiene un espesor promedio de 51 pies, se presenta como una arenisca de cuarzo hialino, friable, grano medio a grueso, mal clasificada con presencia de glauconita y no presenta indicios de hidrocarburos.

2.2.2.1.3 Formación Napo

Esta formación yace concordante sobre la formación Hollin y está constituida por una alternancia de areniscas, lutitas y calizas en parte variables con una potencia promedio de 765 pies. En esta formación se encuentran las mejores zonas productoras de petróleo como la Arenisca "T", "U" y "M-2".

2.2.2.1.4 Formación Tena

Esta formación tiene un espesor promedio de 342 pies con ambiente marino somero a continental, yace discordante sobre la formación Napo, litológicamente está compuesta por arcillas y limolitas de color rojo moteada con blanco.

2.2.2.1.5 Formación Tiyuyacu

La formación Tiyuyacu, presenta un espesor promedio de 1690 pies, ambiente continental y descansa concordante sobre la formación Tena, se puede dividir en tres miembros, presentando un conglomerado de tope, medio y basal con presencia de chert multicolor e intercalaciones de arcillas y limolitas de color rojo a café chocolate.

2.2.2.1.6 Formación Orteguaza

Presenta un espesor promedio de 645 pies y está constituida por lutitas de color gris-verdosas con intercalaciones de arcillolitas y areniscas de coloración verdosa con grano fino.

Sobre la Formación Orteguaza se depositaron sedimentos del Mio-Plioceno Indiferenciado y del Cuaternario compuesto de arcillas de color rojo y rojo ladrillo con un espesor promedio de 4760 pies.

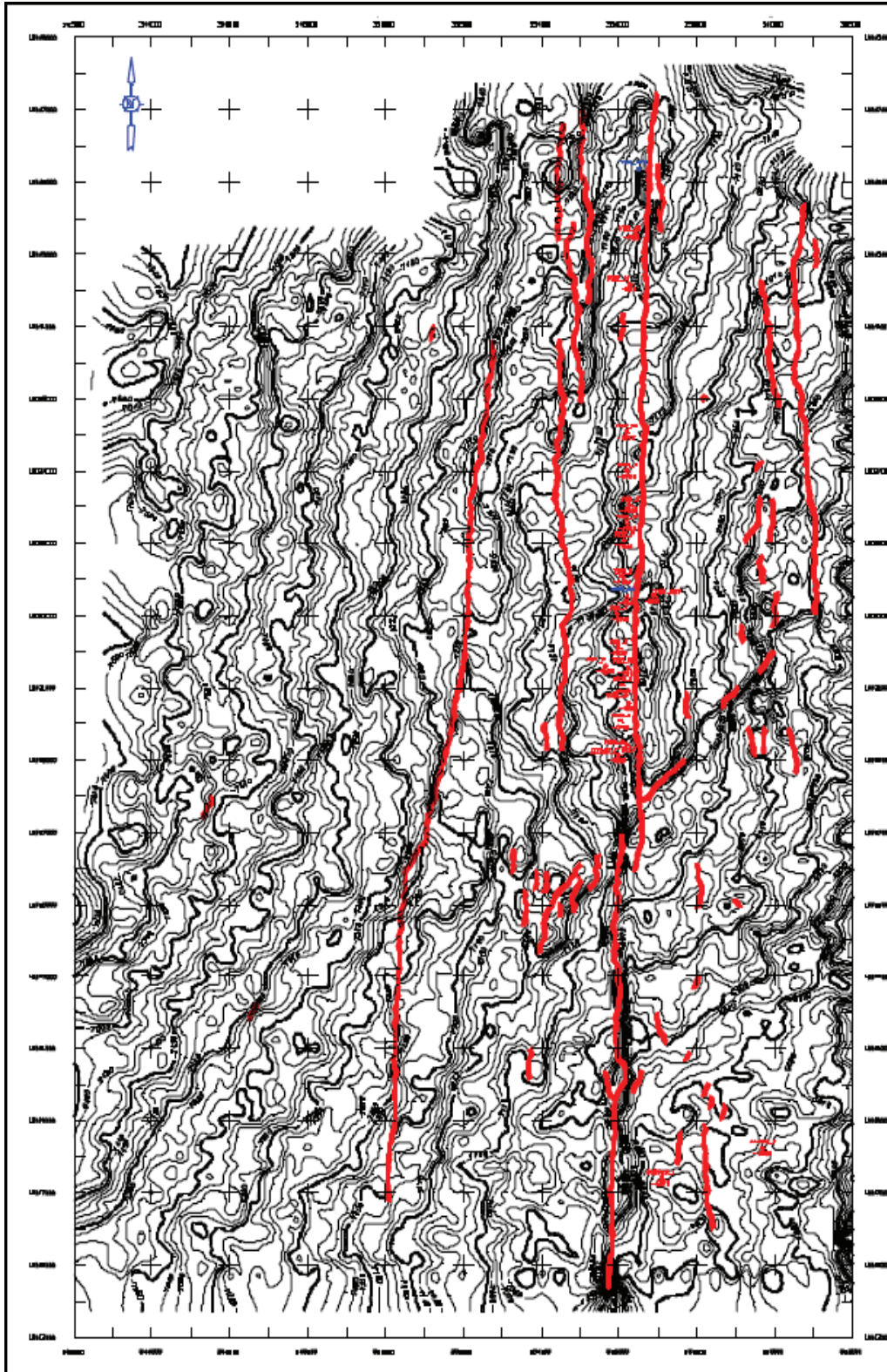
2.2.2.2 Estructura

El campo V.H.R. es un anticlinal fallado, en dirección norte-sur, con una extensión de 15 Km de largo por 4 Km de ancho aproximadamente, está controlado por una falla inversa al este que presenta un salto aproximadamente 130 pies, la estructura cierra contra esta, probando así la impermeabilidad de la falla

Dentro del anticlinal se encuentran dos pequeños altos estructurales a la base de la caliza "A", el primero está localizado entre los pozos Lilian-01 y V.H.R.-06, teniendo al pozo V.H.R.-02 (-7020') en su parte más alta y el segundo entre V.H.R.-06 y V.H.R.-10 siendo el pozo V.H.R.-08 (-7018') su punto más alto.

La figura 2.4, muestra el mapa estructural del campo VHR a profundidad a la base de la caliza A.

**FIGURA 2.4 MAPA ESTRUCTURAL CAMPO VHR, PROFUNDIDAD
BASE CALIZA “A”**



FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

2.2.2.3 Descripción de los principales yacimientos

El campo V.H.R. tiene, 7 niveles de interés, probándose seis niveles en el pozo exploratorio V.H.R.-01 resultando productores: "T" Principal, "T" Secundaria, "U" Inferior, "U" Media, "U" Superior, "M2" y arenisca Tena Basal. La figura 2.5, muestra la columna estratigráfica del campo VHR.

2.2.2.3.1 Arenisca T inferior

Es un yacimiento con un espesor arenoso promedio de 40 pies, con presencia de contacto agua petróleo a -7277 pies y tiene las siguientes características petrofísicas promedios: $h_o = 15'$, $\Phi = 14\%$ y $Sw = 30\%$.

2.2.2.3.2 Arenisca T superior

Este yacimiento no presenta contacto agua-petróleo y cuenta con las siguientes características petrofísicas promedios: $h_o = 6'$, $\Phi = 14\%$ y $Sw = 44\%$.

2.2.2.3.3 Arenisca U inferior

Es el yacimiento mejor desarrollado con un espesor arenoso bruto promedio de 70 pies, el contacto agua petróleo está a -7147 pies y presenta las siguientes características petrofísicas: $h_o = 45'$, $\Phi = 15.7\%$ y $Sw = 28\%$.

2.2.2.3.4 Arenisca U media

El yacimiento no presenta contacto agua-petróleo por tal motivo para el cálculo de reservas se utilizó el límite inferior de la arena (-7119 pies), con las siguientes características petrofísicas: $h_o = 8'$, $\Phi = 15.7\%$ y $Sw = 25\%$.

2.2.2.3.5 Arenisca U superior

Este yacimiento tiene un espesor promedio de 20 pies, el contacto agua petróleo está a -7077 pies en la parte sur de la estructura y cuenta con las siguientes características petrofísicas: $h_o = 16'$, $\Phi = 15.9\%$ y $Sw = 22\%$. En la parte norte, en el pozo VHR-14 el reservorio cuenta con petróleo de menor calidad que el

correspondiente a la parte sur con un $h_o = 12'$, $\Phi = 18.5\%$ y $Sw = 43\%$, para el cálculo de reservas se utilizó el límite inferior de la arena.

2.2.2.3.6 Arenisca "M2"

Este yacimiento tiene un espesor arenoso total promedio de 24 pies, sus características litológicas son: arenisca de cuarzo, gris verdosa, mala selección, presencia de glauconita y cemento calcáreo, factores de incidencia para determinar el contacto agua-petróleo, el mismo que fue determinado a nivel de campo a -6932 pies y tiene las siguientes características petrofísicas: $h_o = 11.5'$, $\Phi = 13.2\%$ y $Sw = 50\%$.

2.2.2.3.7 Arenisca Basal Tena

El yacimiento tiene un espesor promedio arenoso de 20 pies, la zona productora se encuentra localizada entre los pozos V.H.R.-03 y V.H.R.-09, estos dos pozos son los límites del yacimiento, presentan un cambio de facie arenosa a limosa. El reservorio Basal Tena, tiene el contacto agua-petróleo a -6554 pies, presenta las siguientes propiedades petrofísicas: $h_o = 8'$, $\Phi = 15.5\%$ y $Sw = 37.06\%$.

2.2.2.4 Características de la roca y fluido

En la tabla 2.2, se observa las propiedades de los reservorios Basal Tena, "M2", "Us", "Um", "Ui" y "T", son las arenas que aportan a la producción.

TABLA 2.2 CARACTERISTICAS DE LA ROCA Y FLUIDO DEL CAMPO VHR

PARÁMETROS	BT	M2	Us	Um	Ui	T
Presión inicial, Pr [psi]	3150	3190	3250	3280	3340	3400
Presión saturación, [psi]	700	480	780	850	800	280
Factor de recobro, [%]	20	20	29	20	28	20
Gravedad específica del petróleo [$^{\circ}$ API]	20	29.2	32	30	32	31
Saturación de agua inicial, Swi [%]	37	50	22	25	28	30
Porosidad, ϕ [%]	15.5	13.2	15.9	15.7	15.7	14
Permeabilidad, K, [md]	889	137	1468	592	1048	77
Temperatura de yacimiento, [$^{\circ}$ F]	196	197	198	198	198	199
Viscosidad de petróleo, μ_o @ T.F. [cp]	8	2	2	2	2	1.8
Relación gas petróleo, GOR [PCS/BF]	180	100	210	260	230	50

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: Walter Haro.

FIGURA 2.5 COLUMNA ESTRATIGRÁFICA CAMPO V.H.R

CRONO-ESTRATIGRAFIA		FORMACION	LITOLOGIA	MIEMBRO
NEOGENO	PLIOCENO			
	MIOCENO	CHALCANA		CHALCANA SUPERIOR CHALCANA INFERIOR
PALEOGENO	OLIGOCENO	ORTEGUAZA		ORTEGUAZA
	EOCENO	TIYUYACU		TIYUYACU CONGL. SUPERIOR BASE CONGL. SUPERIOR
				CONGL. INFERIOR TIYUYACU
PALEOCENO	TENA		TENA ARENISCA BASAL TENA	
CRETACIO	TARDIO	NAPO		NAPO ARENISCA "M-1"
				CALIZA "M1"
	TEMPRANO			CALIZA "M2"
				ARENISCA "M2"
		CALIZA "A"		
			ARENISCA "U" SUPERIOR	
			ARENISCA "U" MEDIO	
			ARENISCA "U" INFERIOR	
			CALIZA "B"	
			ARENISCA "T" SUPERIOR	
			ARENISCA "T" INFERIOR	
			CALIZA "C"	
		HOLLIN		HOLLIN SUPERIOR
				BASAMENTO

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

2.3 INFORMACIÓN DE POZOS PERFORADOS EN EL CAMPO

Los registros de perforación de los 16 pozos analizados en el proyecto, contienen los datos necesarios para realizar el análisis de la selección de brocas. El anexo 1 contiene los registros de brocas los pozos involucrados en el estudio, donde se detalla las fechas de perforación y todos los parámetros utilizados.

Para efectuar la metodología de selección de brocas para el campo Cuyabeno-VHR, se realiza el análisis de los registros de brocas (bit records) de los pozos perforados con el RIG CPEB 70128 en estos campos.

Los pozos analizados son:

- Campo Cuyabeno
 - CUY 13D
 - CUY 28D
 - CUY 29D
 - CUY 30D
 - CUY 31D
 - CUY 32D
 - CUY 33D
 - CUY 34D
 - CUY 35D
 - CUY 36D
- Campo VHR
 - VHR 12D
 - VHR 18D
 - VHR 19D
 - VHR 21D
 - VHR 22D
 - VHR 24D

El anexo 1, contiene el registro de brocas de los 16 pozos del campo Cuyabeno-VHR, analizados para desarrollar la metodología de selección de brocas.

2.3.1 BIT RECORD O REGISTRO DE BROCAS

Los pozos cuentan con un registro de las brocas utilizadas durante su perforación, el registro muestra información de las brocas y los parámetros de perforación utilizados para cada una. Este registro tiene dos secciones, el encabezado y la sección principal. A continuación, se toma como ejemplo el registro de brocas del pozo CUY-28D para describir un registro de broca y sus partes como indican las tablas 2.3 y 2.4. La tabla 2.3, muestra el encabezado del registro de brocas, ahí podemos encontrar información del pozo como:

- Localización geográfica: Ecuador/Sucumbíos
- Nombre del campo: Cuyabeno
- Coordenadas de ubicación:
 - Latitud 0° 1' 34.612" Norte.
 - Longitud 76° 16' 52.467" Oeste.
- Compañía Operadora: PETROPRODUCCIÓN
- Nombre del pozo: Cuyabeno28D
- RIG: CPBE 70128.
- Fecha inicial: 16-02-2009
- Fecha final: 2-02-2009
- Perfil direccional: Tipo "S"
- Nombres de las compañías contratistas.

La sección principal de un registro de brocas contiene información detallada de cada broca utilizada durante el trabajo realizado en cada corrida y cada uno de los parámetros utilizados en la perforación, así como el tiempo que estuvo operando cada herramienta.

La tabla 2.4, muestra la sección principal de un registro de brocas.

2.3.1.1 Información de la broca

Las características principales y parámetros de las brocas utilizadas durante la perforación de un pozo de petróleo se encuentran en esta sección.

La información de la segunda broca en el pozo CUY 28D es:

- Diámetro de la broca: 12 ¼ [in]
- Tipo de broca: QD605X
- Nomenclatura IADC: M323
- Número de aletas (brocas PDC): 5
- Tamaño de los cortadores: 19 [mm]
- Número y el diámetro de las boquillas: 7x11
- Serie: 7014548.
- Fecha de salida: 18-02-2009

Los parámetros usados para esta broca son:

- Profundidad de salida: 3377 [ft]
- Intervalo perforado: 3062 [ft]
- Tiempo de perforación: 19.83 [hrs]
- Rata de penetración: 154.41 [ft/hr]
- Peso sobre la broca: 1-16 [klbs]
- Velocidad de la rotaria: 60 [rpm]
- Presión de bombas: 3200 [psi]
- Caudal: 860 [gmp]
- Torque 1-7 [lbs/ft]

A continuación, se conceptualiza los parámetros contenidos en la parte principal de los registros de brocas.

2.3.1.2 Torque

Cuando se aplica una fuerza sobre un cuerpo rígido, este realiza un movimiento de rotación en torno a algún eje. La propiedad de la fuerza para hacer girar al cuerpo se conoce como torque, está medido en libras fuerza por pie, [lbs/ft].

2.3.1.3 Peso sobre la broca (WOB)

Para que la perforación se realice y la broca cumpla su función el perforador debe aplicar un peso sobre esta. Conforme la estructura de corte de la broca se desgasta, se requerirá más peso para mantener la tasa de penetración, está medido en kilo-libras, [klbs].

En perforaciones sobre balance se debe reducir el WOB cuando atraviesa formaciones duras para mejorar la capacidad de mantener el hueco vertical.

2.3.1.4 Rata de penetración (ROP)

El ROP, es la velocidad a la que se está desarrollando la perforación, es decir, representa la cantidad de pies perforados en un intervalo de tiempo determinado, si el ROP disminuye significativamente de manera repentina durante la perforación, puede ser una señal de que es oportuno realizar un cambio de broca en caso de que su valor no se encuentra dentro del rango adecuado de operación y también dependerá del modo en que se esté perforando (rotando o deslizando), está medido en pies por hora, [ft/hrs].

La perforación bajo balance mejora dramáticamente el ROP.

2.3.1.5 Velocidad de la rotaria (RPM)

La velocidad de rotación total de la broca es igual a la velocidad de rotación en superficie más la velocidad de rotación del motor en profundidad. No es aconsejable perforar con altas velocidades de rotación en formaciones abrasivas

por que puede presentarse un rápido desgaste en la broca debido a la abrasión, mientras que altas velocidades de rotación en formaciones duras pueden reducir el ROP, porque los cortadores no penetran en la formación para seguir cortándola.

En perforación bajo balance no es necesario disminuir este parámetro para poder mantener la verticalidad del hueco en formaciones duras.

2.3.1.6 Caudal

Es el volumen de fluido de perforación que se utiliza en un intervalo de tiempo determinado. El caudal para limpiar el hoyo es de 30 [gpm] por pulgada, el caudal máximo es de 50 [gpm] por pulgada de diámetro del hoyo.

En perforaciones bajo balance, se minimiza la pérdida de circulación del caudal del fluido de perforación y protege el reservorio de daño a la formación, evita la invasión de fluidos de perforación y el taponamiento mecánico de los poros por arcillas hidratadas.

TABLA 2.3 ENCABEZADO BIT RECORD CUY 28D

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR	SPUD DATE:	ID DATE:
Ecuador / Sucumbios		PETROPRODUCCION	lunes, febrero 16, 2009, 05:40 PM	lunes, marzo 02, 2009, 08:15 AM
FIELD / AREA		WELL	WELL TYPE:	WORK TYPE :
CUIABENO		CUIABENO-28D	Desarrollo	LLAVE EN MANO
LATITUDE		CONTRACTOR / RIG	WELL PROFILE :	HCC OFFER :
0° 1' 34.512" North			Direccional "S"	LUMP SUM
LONGITUDE		CPEB 70128	TURKEY CO.	TARGET FM :
76° 16' 52.467" West			PETROPRODUCCION	Areniscas "U" y "T"
			DIRECCIONAL CO.:	MUD CO.:
			Schlumberger	Mi Swaco

FUENTE: Baker Hughes
 ELABORADO POR: Baker Hughes

TABLA 2.4 SECCIÓN PRINCIPAL BIT RECORD CUY 28D

No #	SIZE	MFG	TYPE	IADC	BLADES #	CUTTER	NZZLS	SERIAL #	DATE OUT	DEPTH OUT	INTERV DRILLED	NET HRS	NET ROP	HRS IADC	ROP IADC	WOB	RPM		PUMP PRESS	FLOW RATE
																	ROT	TOTAL		
1	12 1/4"	HCC	GT-1	117	TRICONE	ST	3x16	6063335	18-Feb-09	315	315	3.45	91.30	4.43	71.11	2-10	40	50	220	250
2	12 1/4"	HCC	QD605X	M323	5	19mm	7x11	7014548	19-Feb-09	3377	3062	19.83	154.41	36.47	83.96	1-16	60	215	3200	860
2R	12 1/4"	HCC	QD605X	M323	5	19mm	7x13	7014548	21-Feb-09	5127	1750	14.4	121.53	25.67	68.17	2-16	60	215	3200	870

FUENTE: Baker Hughes
 ELABORADO POR: Baker Hughes

2.6 METODOLOGÍA PARA LA SELECCIÓN DE BROCAS⁴

La selección de las brocas dentro del proceso de planificación de un pozo es fundamental, de esto depende la optimización del tiempo de perforación. A continuación se muestra los elementos de criterio necesarios para seleccionar brocas para perforar el campo Cuyabeno-VHR, basado en el método de Energía Mecánica Específica y en el costo de perforación por pie.

2.6.1 COSTO POR PIE (C)

El criterio para seleccionar una broca normalmente se basa en el costo de perforación por pie, C, este término representa la relación que existe entre los costos de las herramientas como la broca y el taladro, el tiempo de perforación y el intervalo perforado, se determina con la siguiente ecuación:

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_p)C_E}{H} \quad (2.1)$$

Donde:

C_B = Costo de la broca, [\$/ft].

C_E = Costo del equipo, [\$/hr].

t_p = Tiempo de perforación de la broca, [hr].

t_v = Tiempo de viaje, [hr].

H = Intervalo perforado, [ft].

El tiempo de viaje para cada corrida se calcula con la fórmula 2.2.

$$t_{viaje} = \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} \quad (2.2)$$

⁴ Información tomada del paper: RABIA HUSSAIN. "Specific Energy as a Criterion for bit selection", SPE paper 12355, Journal of Petroleum Technology, Julio 1985.

2.6.2 ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA (E_s)

La energía requerida para remover una unidad de volumen de roca se define como energía mecánica específica “Es”, relaciona parámetros de perforación como: peso sobre la broca, velocidad de la rotaria, diámetro de la broca y la rata de perforación. Es determinada por la siguiente ecuación.

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} \quad (2.3)$$

Donde:

WOB = Peso sobre la broca, [klbs].

N = Velocidad de la rotaria, [rpm].

d = Diámetro de la broca, [in].

ROP= Rata de penetración, [ft/hr].

La energía específica, E_s , no es una propiedad intrínseca de la roca porque su valor es altamente dependiente del tipo de broca utilizada en la perforación y del diseño de la misma.

2.6.2.1 Método de energía mecánica específica para la selección de brocas (E_s)

Ordenar la información de los registros de brocas de pozos de correlación, como se muestra en la tabla 2.5, el nombre del pozo, tipo de broca, profundidad de salida, formación, intervalo perforado, tiempo de perforación, ROP, WOB, RPM y finalmente en los últimos dos casilleros realizar el cálculo de la energía mecánica específica (E_s), el tiempo de viaje y el costo por pie (C) para cada intervalo perforado para todas las brocas utilizadas.

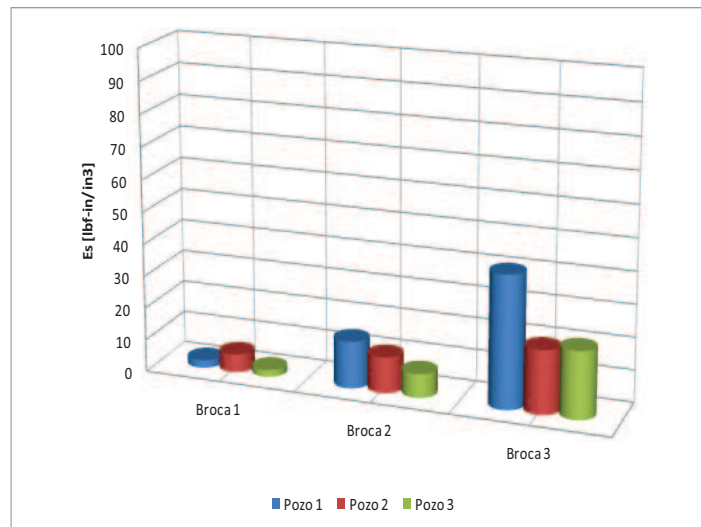
Realizar los gráficos de la energía mecánica específica (E_s) vs. Profundidad, como la figura 2.6 y el Costo por pie vs. Profundidad, como la figura 2.7 para identificar el de menor valor. Las figuras 2.6 y 2.7 y la tabla 2.5 son ilustrativas.

TABLA 2.5 DATOS OBTENIDOS DEL REGISTRO DE BROCAS

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]

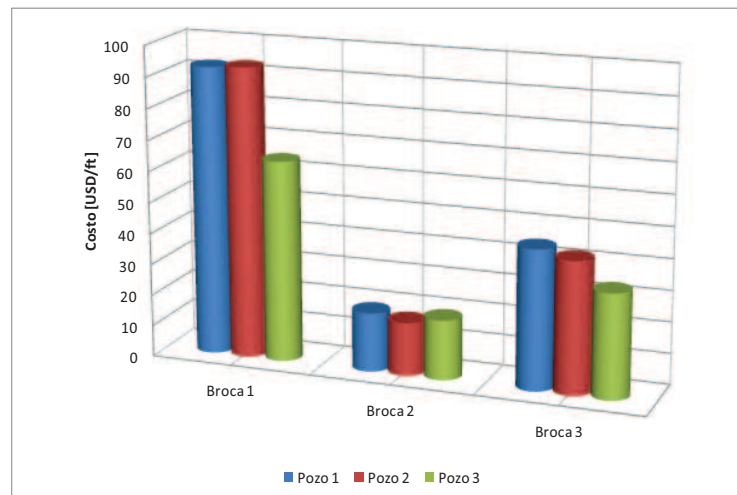
FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
 ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.6 E_s VS PROFUNDIDAD



FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
 ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.7 COSTO POR PIE VS PROFUNDIDAD



FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
 ELABORADO POR: Walter Haro

La broca seleccionada, tricónica o PDC, según este método será la que requiera menor cantidad de energía mecánica específica en una misma formación.

Los criterios de E_s conjuntamente con el costo de perforación por pie son la base para decidir el tipo de broca a ser utilizada.

Por otro lado, se debe determinar el punto en el cual debe ser remplazada la broca que está perforando, el punto exacto para cambiar la broca es cuando la energía mecánica específica de la broca utilizada empieza a aumentar su valor mientras que un diferente tipo de broca mejora su desempeño.

Por ejemplo, la tabla 2.6, muestra valores de energía mecánica específica E_s , para cuatro diferentes tipos de brocas, utilizadas frecuentemente en perforaciones de las distintas formaciones en un campo de Abu Dhabi.

En el primer caso, se puede observar que la broca J22 tiene mayor eficiencia debido a que tiene menor valor de E_s para las formaciones Rus, Umm Er Radhuma y Simsima por tal motivo, es la broca indicada para perforar esta sección de los pozos.

Desde la formación Fiqa hasta la formación Shilaif la broca F2 supera el rendimiento de las brocas J22, J3 y S21 e indica que es el punto exacto para cambiar la broca.

En la última formación Nahr Umr la broca J3 es la que tiene menor valor de E_s entre las cuatro opciones de broca consecuentemente es la que será utilizada para perforar este intervalo del pozo.

En el caso de los campos Cuyabeno y VHR se realiza un análisis de las brocas utilizadas en los pozos analizados, el estudio se efectúa mediante los intervalos a los que fueron programadas la utilización de determinadas brocas y de esta manera seleccionar la mejor, es decir la de menor valor de energía mecánica específica para cada formación del pozo.

TABLA 2.6: EJEMPLO DE SELECCIÓN DE BROCAS

Formación	Tipo de Broca	Es [in-lbf/in ³]
Rus	J22	211
	F2	245
	J3	289
	S21	360
Umm Er Radhuma	J22	153
	F2	161
	J3	165
	S21	154
Simsima	J22	184
	F2	186
	J3	212
	S21	197
Fiqa	J22	326
	F2	275
	J3	330
	S21	357
Halul/Laffan/Ruwaydha/ Tuwayil	J22	336
	F2	269
	J3	367
	S21	491
Shilaif	J22	427
	F2	415
	J3	465
	S21	829
Nahr Umr	J22	398
	F2	345
	J3	280
	S21	383

FUENTE: Specific Energy as a criterion for bit selection SPE paper 12355.
ELABORADO POR: Walter Haro.

2.7 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN DE BROCAS PARA EL CAMPO CUYABENO-VHR

El procedimiento para seleccionar las mejores brocas de cada formación para el campo Cuyabeno- VHR, se realiza mediante una hoja de cálculo diseñada con los requerimientos del subcapítulo 2.6.2.1. La energía específica, es calculada con la fórmula 2.3, mientras que el costo de perforación por pie es calculada con la fórmula 2.1, el tiempo de viaje para cada corrida se calcula con la fórmula 2.2. De la tabla 2.8 a la tabla 2.19 y de la figura 2.9 a la figura 2.20 se usa el mismo procedimiento.

Por ejemplo, la tabla 2.9, contiene los datos de las brocas usadas para perforar el Terciario Indiferenciado en el campo Cuyabeno. Está ordenado de izquierda a derecha de la siguiente manera: nombre del pozo, tipo de broca, profundidad de salida, formación perforada, intervalo perforado, tiempo de perforación, rata de penetración, peso sobre la broca, velocidad de la rotaria, costo de la broca, tiempo de viaje, costo de perforación por pie y energía mecánica.

La broca que tiene el menor valor de energía mecánica específica está resaltada de color amarillo, la mejor broca de este grupo es la broca tipo RSR519M del pozo CUY 33D. Perfora el intervalo más grande, en menor tiempo a mayor rata de penetración, a diferencia de pozos como el CUY 13D que usa tres brocas para perforar el mismo intervalo en mayor tiempo.

La figura 2.10, es la representación gráfica de la tabla 2.9, compara las brocas utilizadas para perforar el Terciario Indiferenciado. El eje vertical contiene el valor numérico de los parámetros costo de perforación por pie en color verde y la energía mecánica específica en color azul. El eje horizontal contiene el tipo de broca que se usa para perforar esta formación, la broca con menor valor de energía mecánica específica está encerrada en un cuadro de color amarilla, los cuadros de color rojo encierran a los pozos que usan dos o más brocas para perforar un mismo intervalo.

En el subcapítulo 2.7.1, se realiza un ejemplo del procedimiento de cálculo para comparar brocas y seleccionar la mejor.

2.7.1 EJEMPLO DE CÁLCULO

Para realizar el ejemplo de cálculo, se toma los datos de tres brocas, de tres pozos, que perforan en la sección superficial en las formaciones pertenecientes al terciario indiferenciado, con el propósito de realizar la comparación entre herramientas y seleccionar la broca con mejor desempeño.

Datos de la broca 1.

Pozo: Cuyabeno 32D

Broca N°: 3

Tipo de Broca: DSR519M- IADC M323

Diámetro: 12.25 in.

Profundidad de Entrada: 500 ft.

Profundidad de Salida: 3753 ft.

Tiempo de perforación: 21.3 hrs.

WOB: 12 klbs.

N: 40 rpm.

Costo de la broca: 16429 [USD]

Costo del equipo: 1799 [USD/hr]

$$\text{Intervalo Perforado} = P. salida - P. entrada = 3753 - 500 = 3253 \text{ [ft]}$$

$$ROP = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{Tiempo de perforación}} = \frac{3253}{21.3} = 152.7 \left[\frac{\text{ft}}{\text{hrs}} \right]$$

$$t_{viaje} = \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} = \frac{500}{1000} = 0.5 \text{ [hrs]}$$

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_R)C_E}{\text{Intervalo Perforado}} = C = \frac{16429 + (0.5 + 21.3) * 1799}{3253} = 17.05 \text{ [USD/ft]}$$

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} = \frac{20 * 12 * 40}{12.25 * 152.7} = 5.1 \left[\frac{\text{in}}{\text{lb/in}^3} \right]$$

Datos de la broca 2.

Pozo: Cuyabeno 36D

Broca N°: 3

Tipo de Broca: DSX117GJ- IADC M421

Diámetro: 12.25 in.

Profundidad de Entrada: 882 ft.

Profundidad de Salida: 4116 ft.

Tiempo de perforación: 20 hrs.

WOB: 10 klbs.

N: 40 rpm.

Costo de la broca: 19167 [USD]

Costo del equipo: 1799 [USD/hr]

$$\text{Intervalo Perforado} = P. salida - P. entrada = 4116 - 882 = 3234 \text{ [ft]}$$

$$ROP = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{Tiempo de perforación}} = \frac{3234}{20} = 161 \left[\frac{\text{ft}}{\text{hrs}} \right]$$

$$t_{viaje} = 2 * \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} = \frac{882}{1000} = 0.882 \text{ [hrs]}$$

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_R)C_E}{\text{Intervalo Perforado}} = C = \frac{19167 + (0.882 + 20) * 1799}{3234} = 18 \text{ [USD/ft]}$$

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} = \frac{20 * 10 * 40}{12.25 * 161} = 4.05 \left[\frac{\text{in}}{\text{lb/in}^3} \right]$$

Datos de la broca 3.

Pozo: Cuyabeno 33D

Broca N°: 2

Tipo de Broca: RSR519M- IADC M323

Diámetro: 12.25 in.

Profundidad de Entrada: 415 ft.

Profundidad de Salida: 4299 ft.

Tiempo de perforación: 14 hrs.

WOB: 12 klbs.

N: 40 rpm.

Costo de la broca: 28750 [USD]

Costo del equipo: 1799 [USD/hr]

$$\text{Intervalo Perforado} = P. salida - P. entrada = 4299 - 415 = 3884 \text{ [ft]}$$

$$ROP = \frac{\text{Intervalo Perforado}}{\text{Tiempo de perforación}} = \frac{3884}{14} = 284 \left[\frac{\text{ft}}{\text{hrs}} \right]$$

$$t_{viaje} = \frac{\text{Profundidad de entrada}}{1000 \text{ [ft/hr]}} = \frac{415}{1000} = 0.415 \text{ [hrs]}$$

$$C = \frac{C_B + (t_v + t_R)C_E}{\text{Intervalo Perforado}} = C = \frac{28750 + (0.415 + 14) * 1799}{3884} = 14 \text{ [USD/ft]}$$

$$E_s = \frac{20 * WOB * N}{d * ROP} = \frac{20 * 12 * 40}{12.25 * 284} = 2.759 \left[\frac{\text{in}}{\text{lb/in}^3} \right]$$

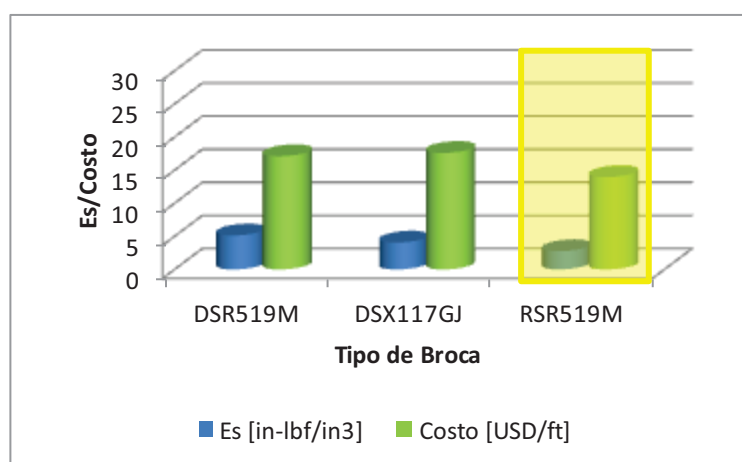
Calculados estos parámetros, procedemos con la interpretación de resultados, elaborando la tabla comparativa y los gráficos de E_s y costo por pie, para determinar la broca que tiene el menor valor de energía mecánica específica.

La tabla 2.7 y la figura 2.8, contienen los datos de las tres brocas del ejemplo.

TABLA 2.7: COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL

Formación	Tipo de Broca	Es [in-lb/in ³]
TID	DSR519M	5
	DSX117GJ	4
	RSR519M	3

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.8 COMPARACIÓN GRÁFICA SECCIÓN SUPERFICIAL

ELABORADO POR: Walter Haro

La broca tipo RSR519M, tiene el mejor desempeño en la perforación de las formaciones pertenecientes al terciario indiferenciado, en la figura 2.8, se observa que esta broca tiene el menor valor tanto de energía mecánica específica como de costo por pie perforado.

El anexo 2, muestra las tablas con los datos y cálculos efectuados por pozo, del método de selección de brocas mediante la energía mecánica específica.

En el segundo casillero de las tablas se nombra el tipo de brocas utilizadas, este tiene una nomenclatura del tipo alfanumérico, para el caso de las brocas de la compañía Baker Hughes en brocas tricónicas, las de dientes de acero tienen un número.

Para brocas con dientes de acero la forma de la nomenclatura es GT- C X G, de donde:

GT= Línea del producto.

C= Características hidráulicas (con jet central).

X= Tipo de cortadores.

G= Tipo de formación.

Por ejemplo la broca tipo GT-09H.

GT= Línea del producto.

09= Formación dura.

H= Calibre aumentado (enhanced gauge).

Para las brocas PDC se utiliza un sistema alfanumérico para diferenciar cada tipo de producto. La forma de nomenclatura es HC R/M/D X YY S Z, de donde:

HC= Línea de producto.

R/M/D= Tipo de tecnología direccional Rotor/Motor/Direccional.

X= Tamaño de los cortadores.

YY= Número de aletas.

S=Material del cuerpo de la broca

Z= Altura de los cortadores.

Por ejemplo la broca tipo HCM506Z.

HC= Línea de producto "Genesis".

M= Motor direccional.

5= 5/8 [in] cortadores de 16 mm.

06= 6 aletas.

Z= cenit cortadores.

Las brocas tricónicas y PDC de la compañía NOV también cuentan con nomenclatura alfanumérica para distinguir sus productos.

Las bocas tricónicas tienen nomenclatura de la forma T XX, de donde:

T= Línea del producto

XX= Tipo de formación

Por ejemplo la broca tipo T11.

T= Línea de producto "Titan".

11= Formaciones suaves.

Para las brocas PDC la forma de la nomenclatura es RS R X YY Z, de donde:

RS= Tipo de tecnología direccional Rotor/Motor.

R= Tipo de cortador.

X= Número de aletas.

YY= Diámetro de los cortadores.

Z= Material del cuerpo de la broca.

Por ejemplo la broca tipo RSR519M.

RS= Rotor direccional.

R= Cortadores de tecnología Raptor.

5= Cinco aletas.

19= Cortadores de 19 mm.

M= El cuerpo de la broca es de matriz.

Como se explica en el capítulo 1, el código IADC para brocas de perforación describe las características de cada broca sin importar la compañía a la que pertenezcan.

El anexo 6 contiene las variables de la nomenclatura de cada broca.

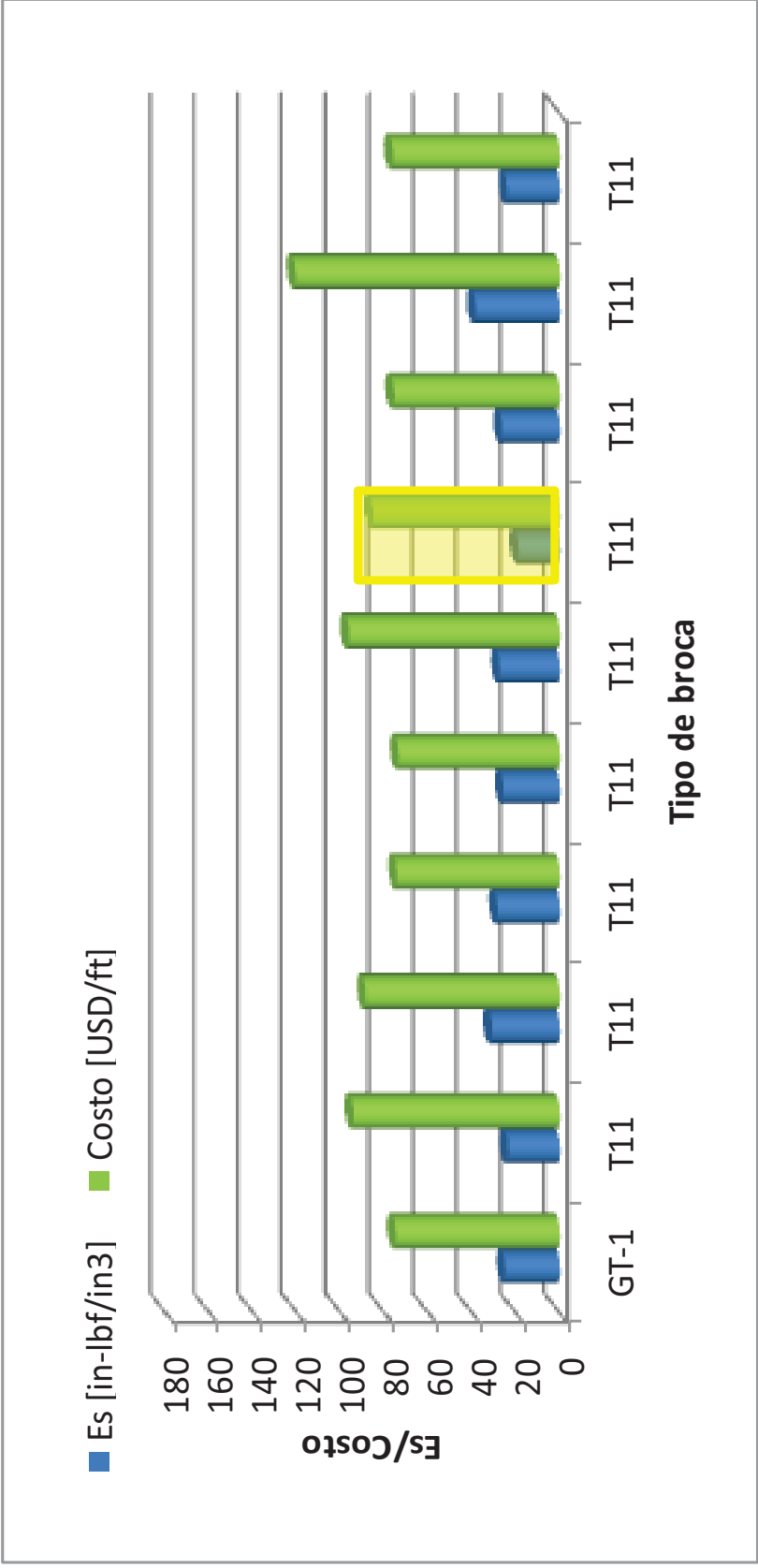
2.7.2 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN PARA EL CAMPO CUYABENO

TABLA 2.8: BROCA #1, HUECO 16” PRIMERA SECCIÓN

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
CUY 28D	GT-1	315	TID	315	3	91	15	80	16,429	0.00	75	25
CUY 13D	T11	330	TID	284	6	50	12	60	16,429	0.05	94	24
CUY 34D	T11	334	TID	290	5	57	12	90	16,429	0.04	89	31
CUY 35D	T11	372	TID	372	6	60	13	80	16,429	0.00	74	29
CUY 29D	T11	367	TID	367	6	62	14	70	16,429	0.00	74	26
CUY 31D	T11	407	TID	360	10	36	10	60	16,429	0.05	96	27
CUY 30D	T11	326	TID	326	6	52	10	60	16,429	0.00	85	19
CUY 32D	T11	410	TID	363	6	60	16	60	16,429	0.05	76	26
CUY 36D	T11	288	TID	244	7	34	10	80	16,429	0.04	121	39
CUY 33D	T11	415	TID	370	7	57	14	60	16,429	0.05	76	24

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.9 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN



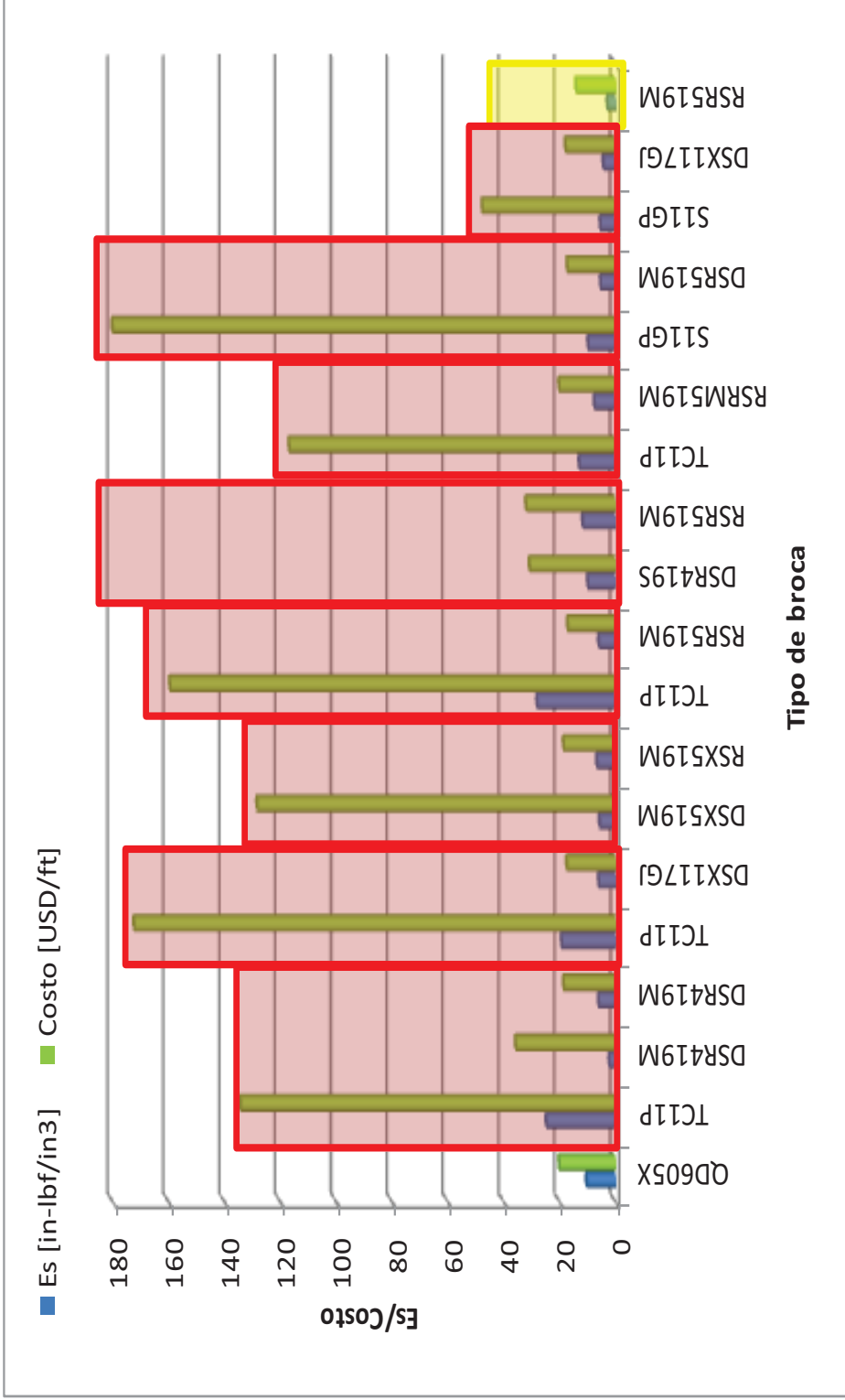
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.9: BROCA #2, HUECO 12.25” SECCIÓN SUPERFICIAL

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
CUY 28D	QD605X	3,377	TID	3,062	20	154	16	60	24,870	0.32	20	10
	TC11P	500	TID	170	3	53	16	50	16,429	0.33	134	25
CUY 13D	DSR419M	1,291	TID	791	6	132	4	40	16,429	0.50	36	2
	DSR419M	4,026	TID	2,735	18	156	14	40	16,429	1.29	18	6
CUY 34D	TC11P	500	TID	166	5	34	10	40	19,167	0.33	172	19
	DSX117GJ	4,030	TID	3,530	23	153	14	40	19,167	0.50	17	6
CUY 35D	DSX519M	600	TID	228	5	44	5	30	19,167	0.37	128	6
	RSX519M	3,191	TID	2,591	15	169	17	40	19,167	0.60	18	7
CUY 29D	TC11P	550	TID	183	5	35	10	60	19,167	0.37	159	28
	RSR519M	3,710	TID	3,160	18	172	10	60	19,167	0.55	17	6
CUY 31D	DSR419S	2,026	TID	1,378	14	101	10	60	16,429	0.65	31	10
	RSR519M	3,901	TID	1,875	22	86	10	60	16,429	2.03	32	11
CUY 30D	TC11P	518	TID	192	3	64	10	50	16,429	0.33	117	13
	RSR519M	3,185	TID	2,667	20	134	10	60	16,429	0.52	20	7
CUY 32D	S11GP	500	TID	90	1	82	12	40	16,429	0.41	213	10
	DSR519M	3,753	TID	3,253	21	153	12	40	16,429	0.50	17	5
CUY 36D	S11GP	882	TID	594	5	126	10	40	19,167	0.29	47	5
	DSX117GJ	4,116	TID	3,234	20	161	10	40	19,167	0.88	18	4
CUY 33D	RSR519M	4,299	TID	3,884	14	284	12	40	28,750	0.42	14	3

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.10 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL



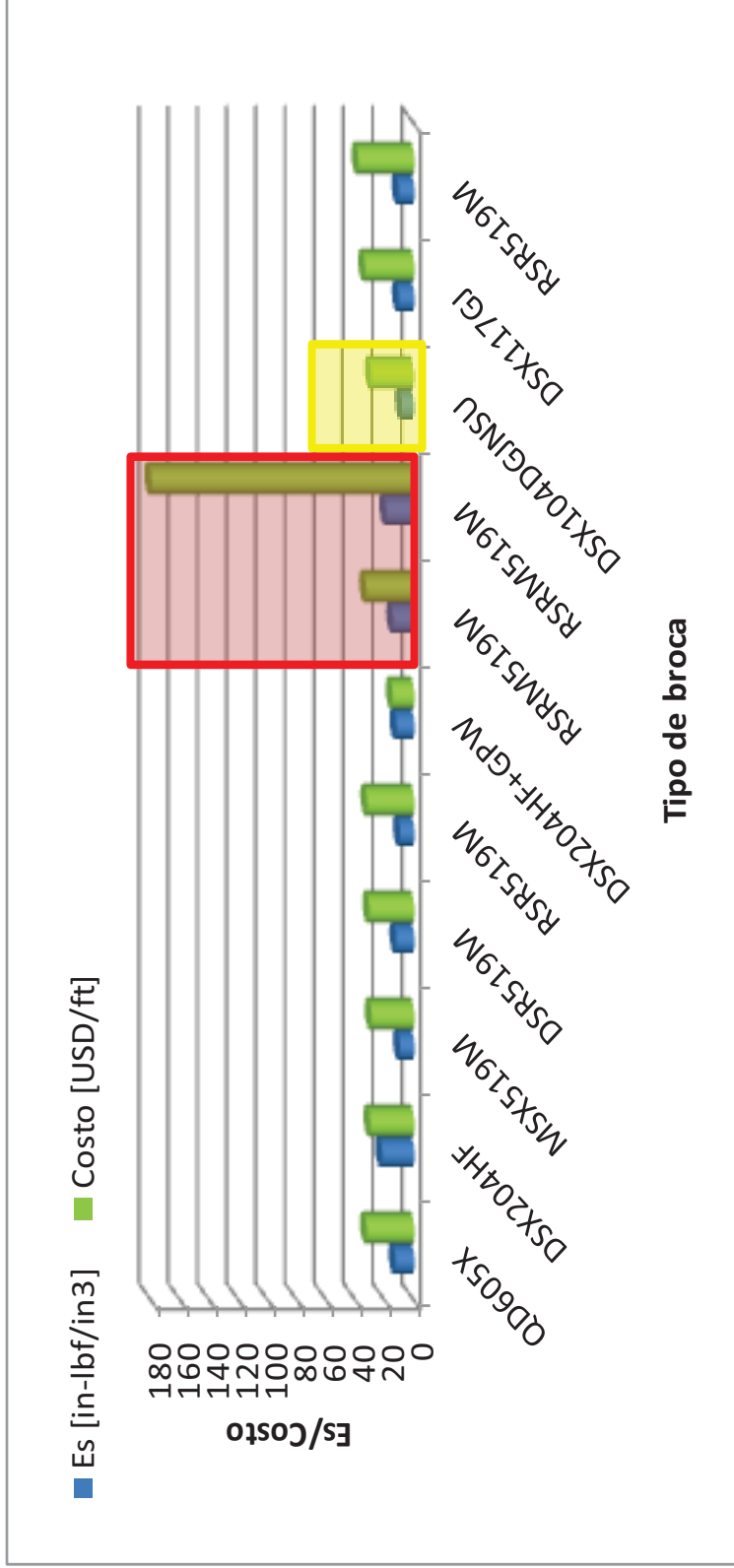
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.10: BROCA #3, HUECO 12.25’’ FORMACIÓN ORTEGUAZA

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca de Viaje [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
CUY 28D	QD605X	5,127	TID/ORT	1,750	14	122	16	60	24,870	3.38	32	13
CUY 13D	DSX204HF	5,623	TID/ORT	1,597	14	118	20	80	16,429	4.03	30	22
CUY 34D	MSX519M	5,600	TID/ORT	1,570	11	145	22	40	19,167	4.03	29	10
CUY 35D	DSR519M	5,515	TID/ORT	2,324	26	90	17	40	19,167	3.19	31	12
CUY 29D	RSR519M	5,530	TID/ORT	1,820	18	100	10	60	19,167	3.71	32	10
CUY 31D	DSX204HF+GPW	5,505	TID/ORT	4,857	30	53	24	50	16,429	1	15	12
CUY 30D	RSR519M	5,239	TID/ORT	2,054	25	81	12	60	16,429	3.19	33	15
	RSR519M	5,272	Acondicionamiento	33	1	51	10	60	16,429	5.24	819	19
CUY 32D	DSX104DG-JNSU	5,928	TID/ORT	2,175	22	99	12	40	16,429	3.75	29	8
CUY 36D	DSX117GJ	5,641	TID/ORT	1,525	14	111	18	40	19,167	4.12	34	11
CUY 33D	RSR519M	6,268	TID/ORT/TIY	1,969	22	91	12	50	28,750	4.30	38	11

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.11 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA



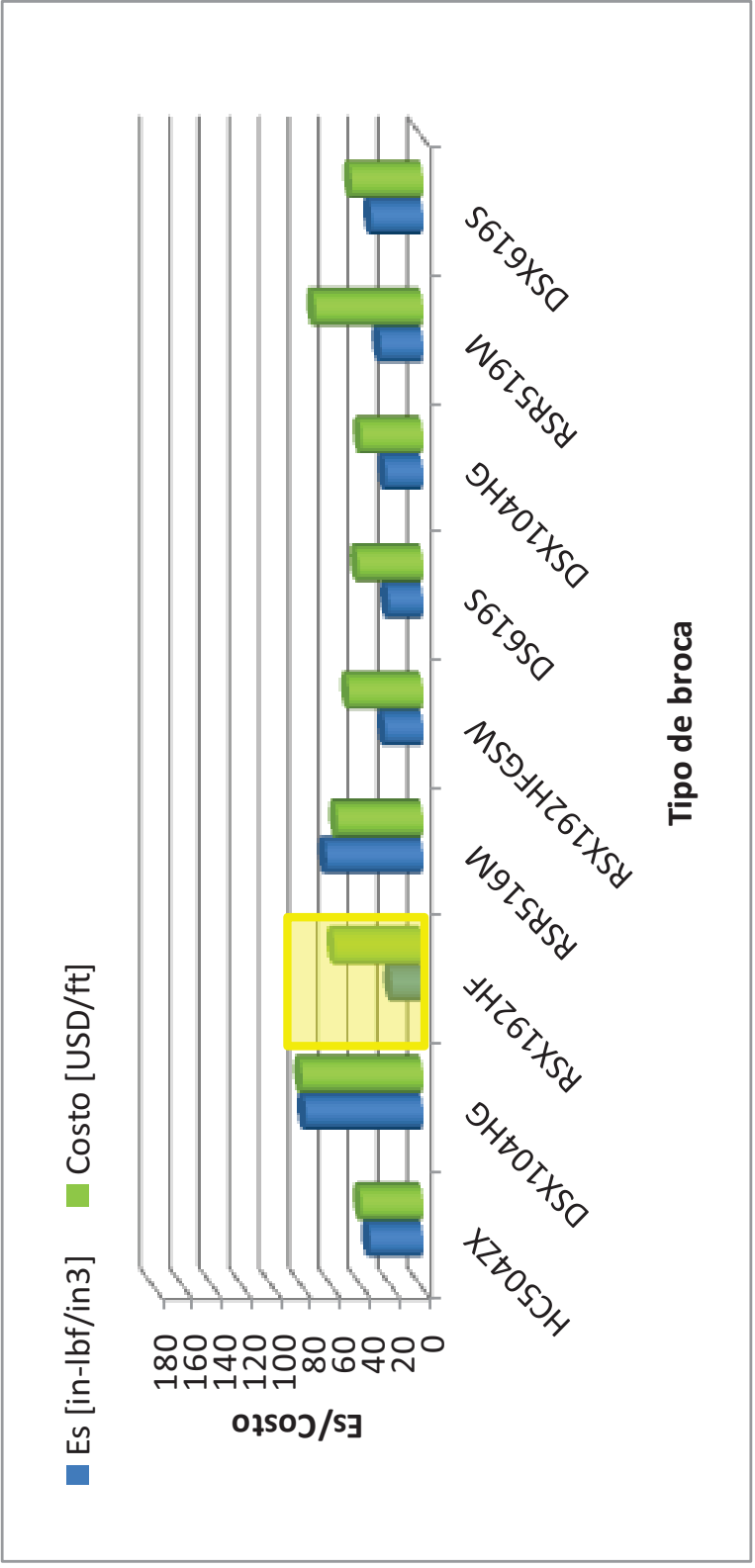
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.11: BROCA #4, HUECO 12.25” TOPE FORMACIÓN TIYUYACU

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/m ³]
CUY 28D	HC504ZX	6,713	ORT/TIY	1,586	18	90	17	80	24,870	5.13	41	36
CUY 13D	DSX104HG	6,474	ORT/TIY	851	24	36	20	60	16,429	5.62	82	79
CUY 34D	RSX192HF	6,412	ORT/TIY	812	10	80	14	50	19,167	5.60	59	21
CUY 35D	RSR516M	6,608	ORT/TIY	1,093	19	58	20	80	19,167	5.52	58	65
CUY 29D	RSX192HFGSW	6,620	ORT/TIY	1,090	14	78	14	60	19,167	5.53	50	25
CUY 31D	DS619S	6,683	ORT/TIY	1,178	14	85	14	60	16,429	5.51	44	23
CUY 30D	DSX104HG	6,660	ORT/TIY	1,388	18	79	14	60	16,429	5.27	41	25
CUY 32D	RSR519M	6,924	ORT/TIY	996	25	40	12	40	16,429	5.93	73	28
CUY 36D	DSX619S	6,720	ORT/TIY	1,079	13	86	18	70	19,167	5.64	48	35
CUY 33D	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.12 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU



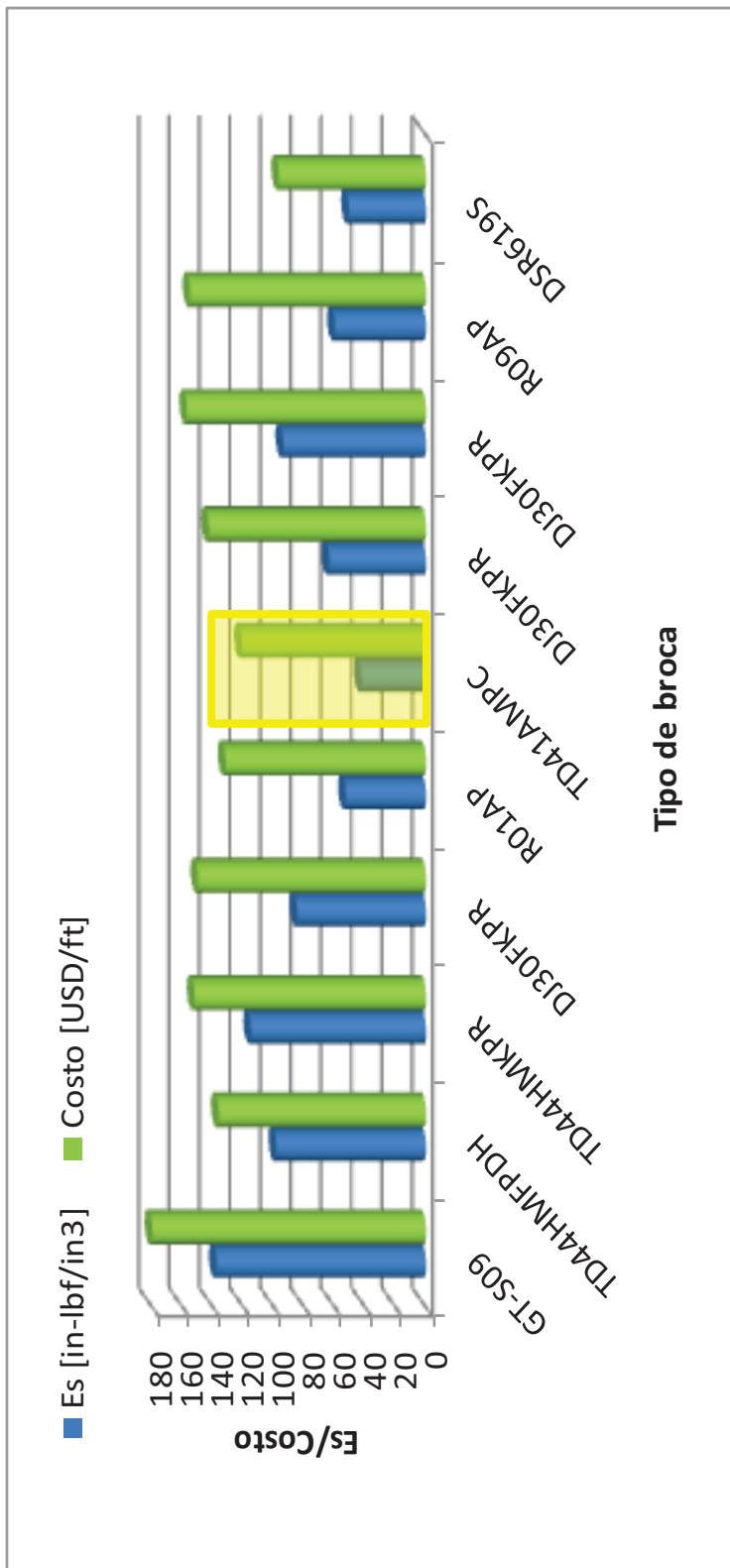
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.12: BROCA #5, HUECO 8.5” FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/m ³]
CUY 28D	GT-S09	7,055	TIY	342	14	24	20	70	24,870	6.71	183	138
CUY 13D	TD44HMFDPH	6,800	TIY	326	9	36	30	50	16,429	6.47	136	99
CUY 34D	TD44HMKPR	6,740	TIY	328	11	31	30	50	19,167	6.41	152	115
CUY 35D	DJ30FKPR	6,932	TIY	324	10	33	30	40	19,167	6.61	150	85
CUY 29D	R01AP	6,981	TIY	361	9	39	22	40	19,167	6.62	132	53
CUY 31D	TD41AMPC	7,036	TIY	353	8	44	20	40	16,429	6.68	121	42
CUY 30D	DJ30FKPR	6,985	TIY	325	10	33	22	40	16,429	6.66	143	64
CUY 32D	DJ30FKPR	7,252	TIY	328	13	26	26	40	16,429	6.92	157	94
CUY 36D	R09AP	7,040	TIY	320	10	31	20	40	19,167	6.72	155	60
CUY 33D	DSR619S	7,380	TIY	1,112	38	30	16	40	28,750	6.27	97	51

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.13 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU



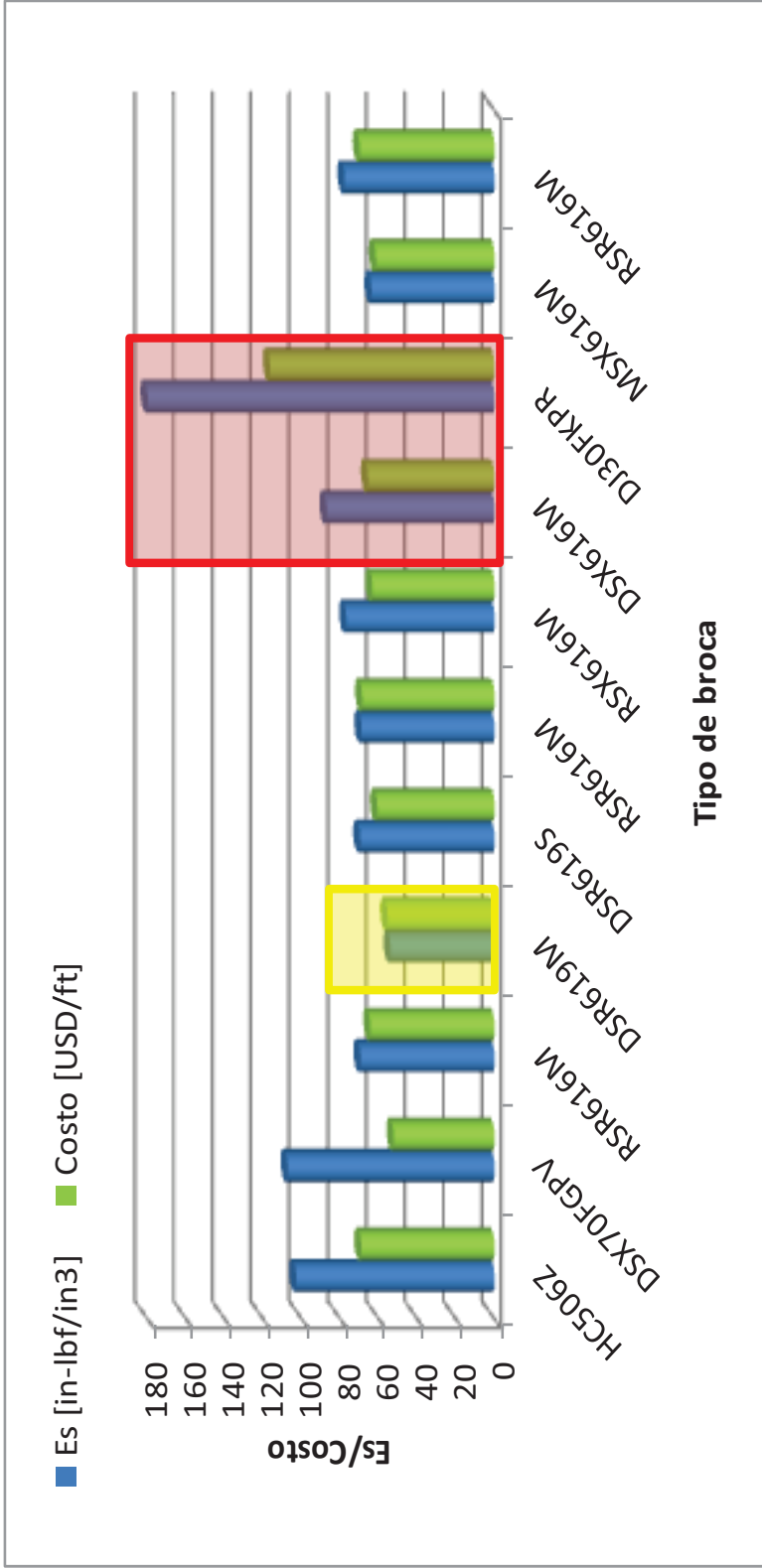
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.13: BROCA #6, HUECO 8.5'' FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-PRC

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
CUY 28D	HC506Z	8,587	TEN/NAP/HLLN/BAS	1,532	38	40	22	80	24,870	7.06	69	103
CUY 13D	DSX70FGPV	8,378	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,578	30	53	30	80	16,429	6.80	52	107
CUY 34D	RSR616M	8,295	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,555	38	41	24	50	19,167	6.74	64	70
CUY 35D	DSR619M	8,430	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,498	29	52	20	60	19,167	6.93	56	54
CUY 29D	DSR619S	8,526	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,545	35	45	22	60	19,167	6.98	61	70
CUY 31D	RSR616M	8,510	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,474	40	37	18	60	16,429	7.04	69	69
CUY 30D	RSX616M	8,525	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,540	38	40	22	60	16,429	6.99	63	77
CUY 32D	DSX616M	8,772	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,520	39	39	16	90	16,429	7.25	66	87
	DJ30FKPR	8,800	PR-C	28	7	4	30	40	16,429	8.77	117	686
CUY 36D	MSX616M	8,570	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,530	35	44	20	60	19,167	7.04	62	64
CUY 33D	RSR616M	8,850	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,470	34	43	24	60	28,750	7.38	70	78

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.14 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-PRC



ELABORADO POR: Walter Haro

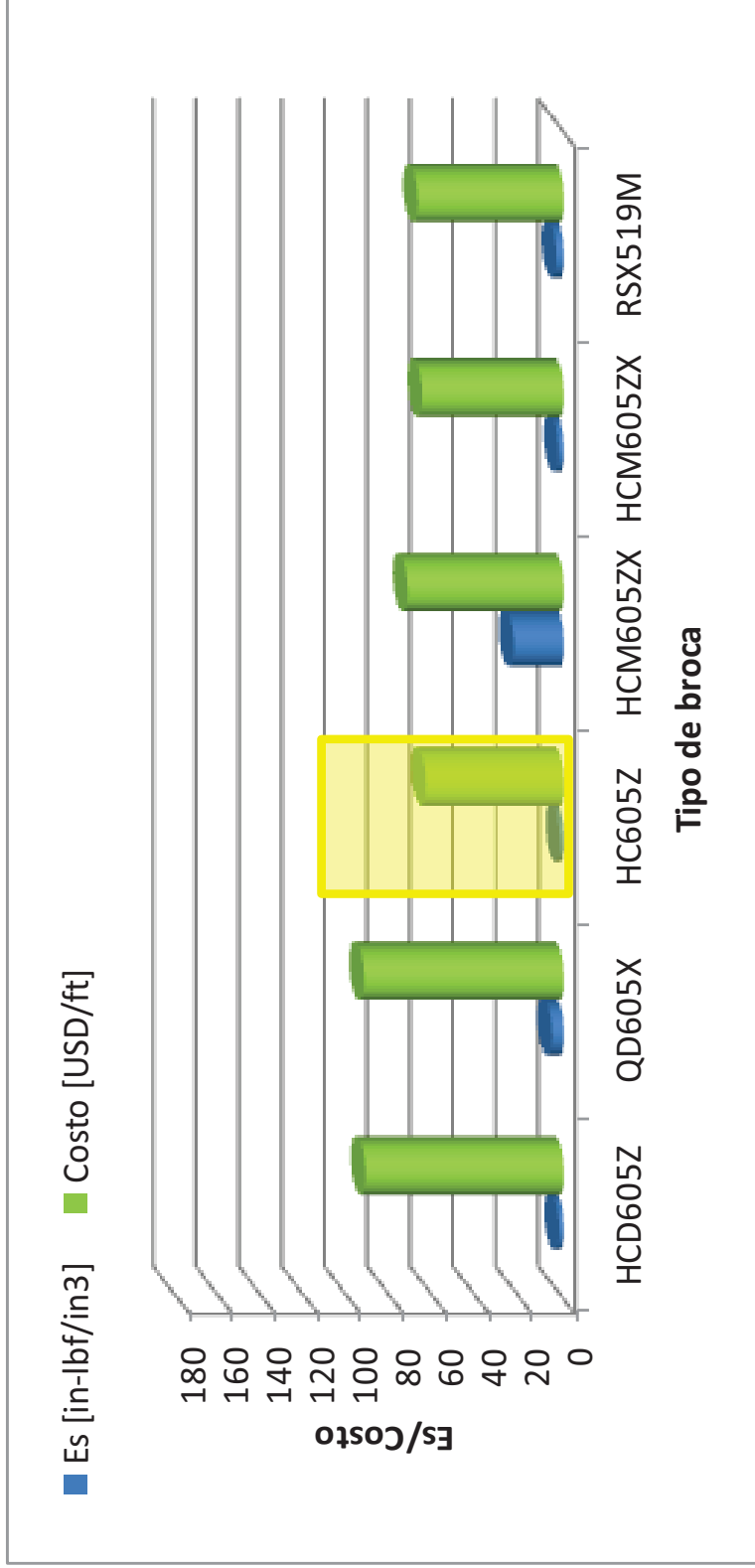
2.7.3 METODOLOGÍA DE SELECCIÓN PARA EL CAMPO VHR

TABLA 2.14: BROCA #1, HUECO 12.25” PRIMERA SECCIÓN

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
VHR 12D	HCD605Z	280	TID	280	3	109	4	40	21,328	0.00	93	2
VHR 18D	QD605X	400	TID	400	7	58	5	40	24,870	0.00	93	6
VHR 19D	HC605Z	500	TID	500	4	121	4	40	24,870	0.00	65	2
VHR 24D	HCM605ZX	400	TID	400	4	91	22	60	21,328	0.00	73	24
VHR 22D	HCM605ZX	400	TID	400	4	91	5	30	18,653	0.00	66	3
VHR 21D	RSX519M	400	TID	396	6	67	5	30	16,429	0.00	68	4

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.15 COMPARACIÓN BROCAS PRIMERA SECCIÓN



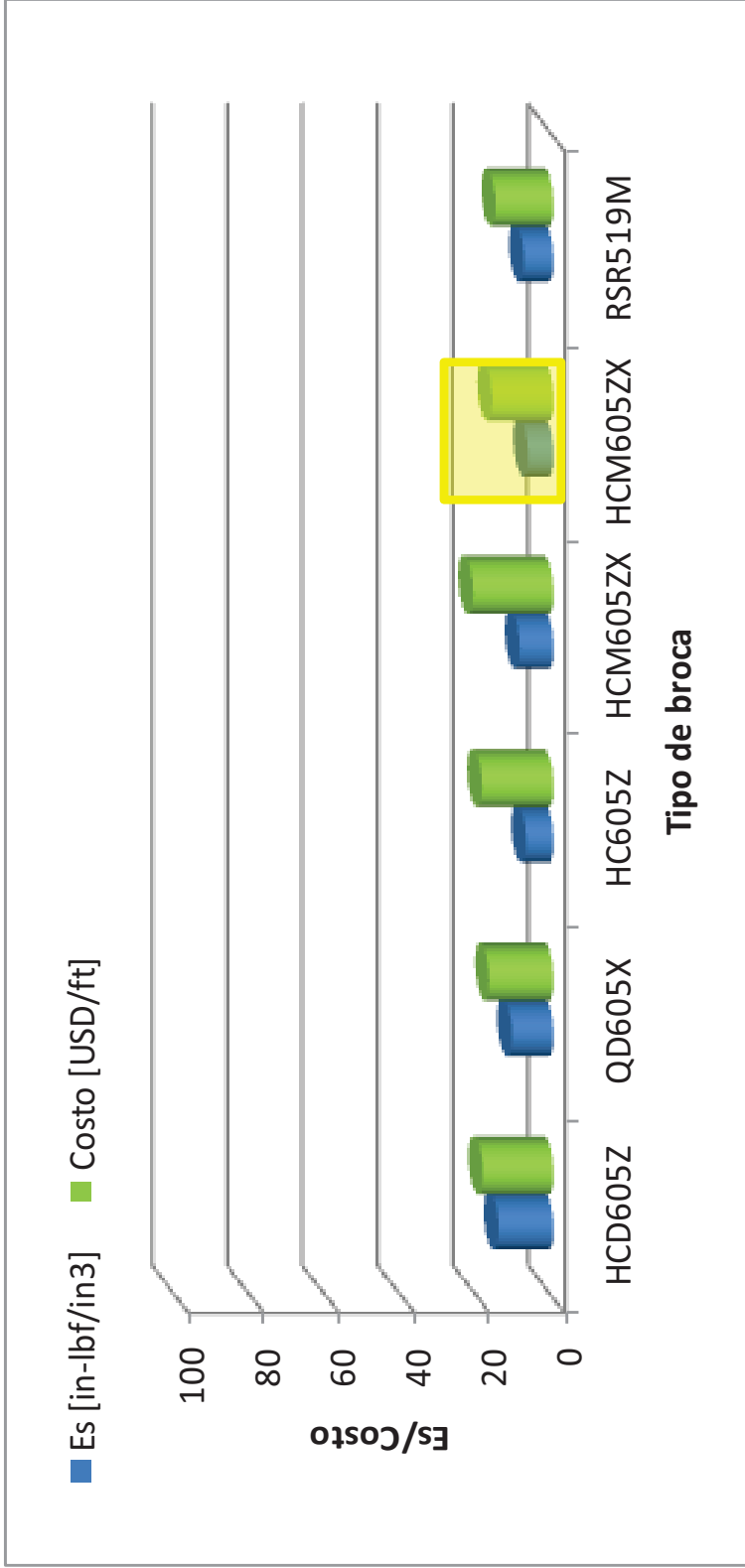
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.15: BROCA #2, HUECO 12.25” SECCIÓN SUPERFICIAL

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
VHR 12D	HCD605Z	3,542	TID	3,262	22	147	22	60	21,328	0.28	19	15
VHR 18D	QD605X	4,110	TID	3,710	21	176	15	80	24,870	0.40	17	11
VHR 19D	HC605Z	3,447	TID	2,947	17	172	13	60	24,870	0.50	19	7
VHR 24D	HCM605ZX	3,287	TID	2,887	22	129	12	60	21,328	0.40	22	9
VHR 22D	HCM605ZX	3,571	TID	3,171	18	177	12	60	18,653	0.40	16	7
VHR 21D	RSR519M	3,920	TID	3,520	25	141	18	40	16,429	0.40	15	8

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.16 COMPARACIÓN BROCAS SECCIÓN SUPERFICIAL



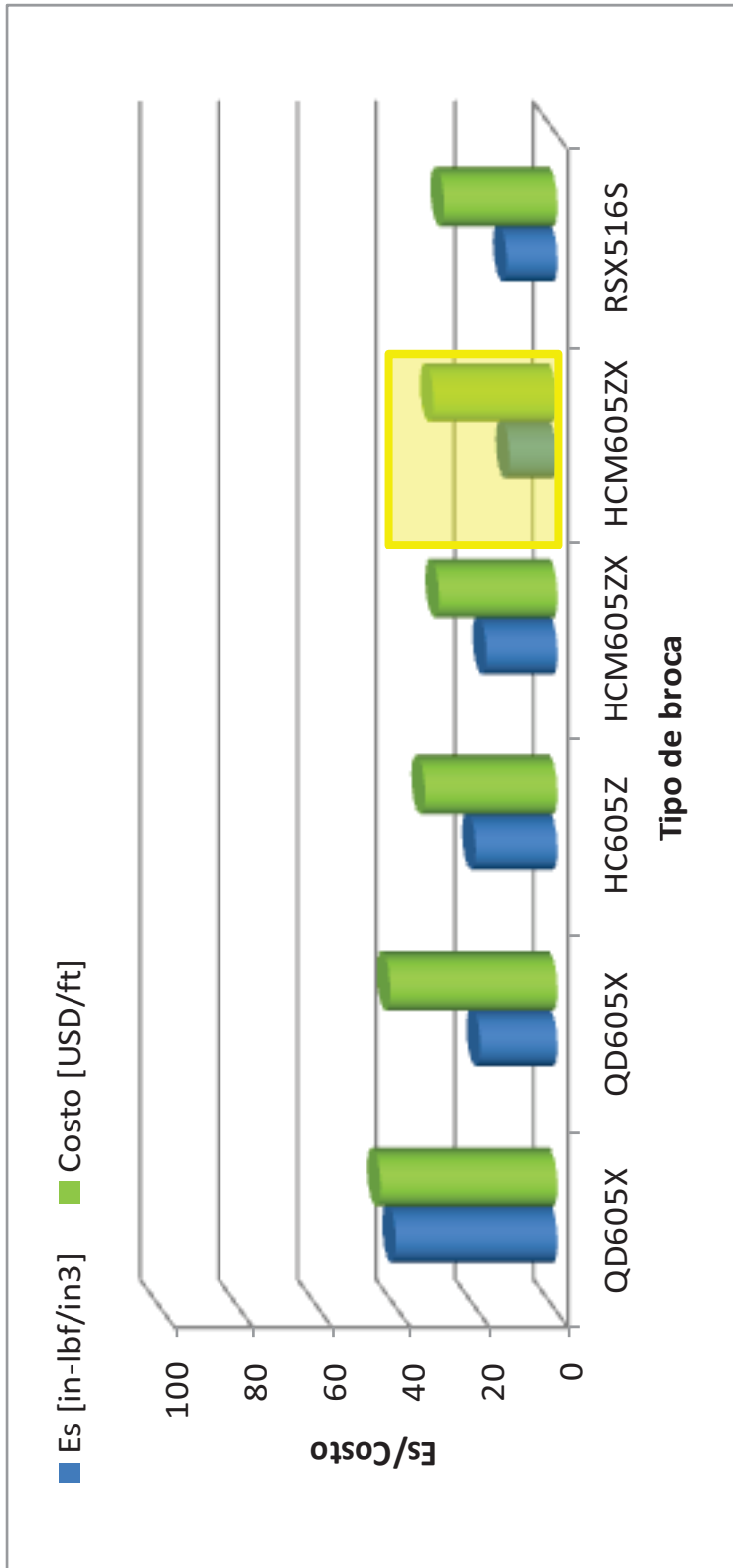
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.16 BROCA #3, HUECO 12.25’’ FORMACIÓN ORTEGUAZA

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/m ³]
VHR 12D	QD605X	6,158	TID/ORT/TIY	2,616	50	53	22	60	21,328	3.54	45	41
VHR 18D	QD605X	5,933	TID/ORT/TIY	1,823	25	73	22	40	24,870	4.11	42	20
VHR 19D	HC605Z	5,962	TID/ORT/TIY	2,515	30	85	18	60	24,870	3.45	34	21
VHR 24D	HCM605ZX	5,317	TID/ORT	2,030	19	108	20	60	21,328	3.29	30	18
VHR 22D	HCM605ZX	5,106	TID/ORT	1,535	13	121	15	60	18,653	3.57	31	12
VHR 21D	RSX516S	6,103	TID/ORT	2,183	25	87	18	40	16,429	3.92	29	13

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.17 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN ORTEGUAZA



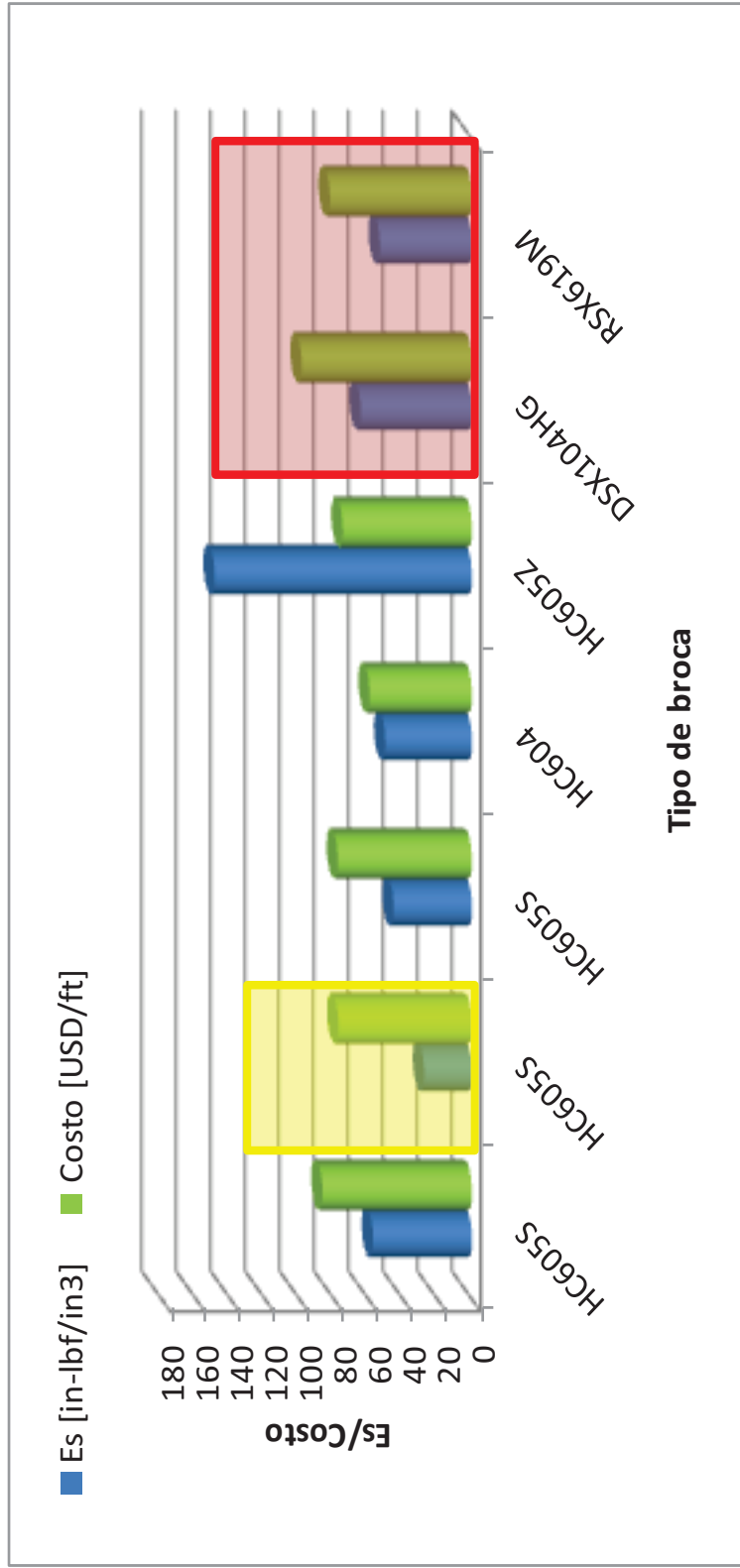
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.17 BROCA #4, HUECO 8.5” TOPE FORMACIÓN TIYUYACU

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
VHR 12D	HC605S	6,900	TIY	742	18	42	17	60	21,328	6.16	87	57
VHR 18D	HC605S	6,780	TIY	847	17	51	15	40	24,870	5.93	77	28
VHR 19D	HC605S	6,778	TIY	816	15	53	17	60	24,870	5.96	78	45
VHR 24D	HC604	6,923	ORT/TIY	1,606	36	45	16	60	21,328	5.32	59	50
VHR 22D	HC605Z	6,717	ORT/TIY	1,611	52	31	22	90	18,653	5.11	75	149
VHR 21D	DSX104HG	6,507	ORT/TIY	404	7	59	20	80	16,429	6.10	99	64
	RSX619M	7,090	TIY	583	11	53	20	60	16,429	6.51	82	53

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.18 COMPARACIÓN BROCAS TOPE FORMACIÓN TIYUYACU



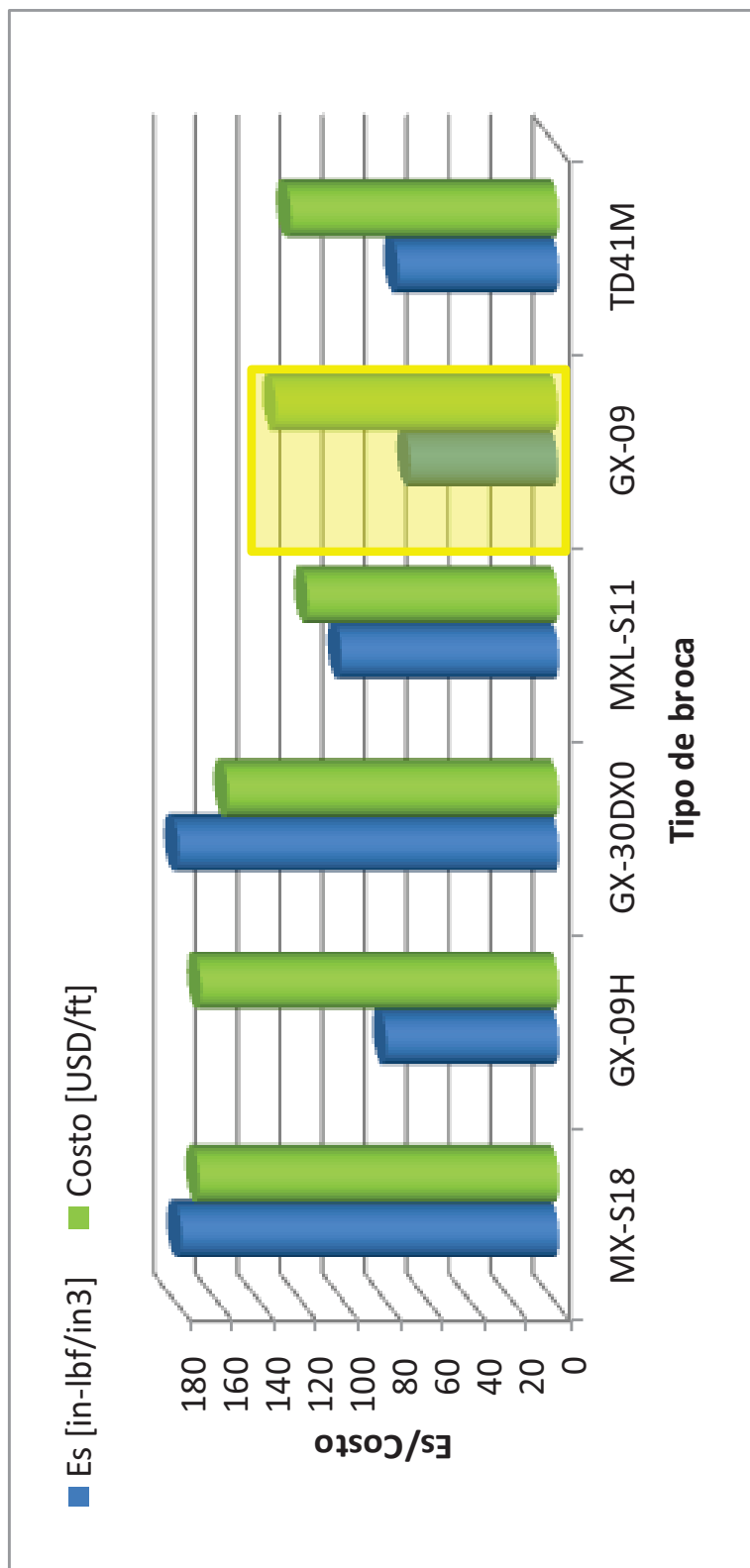
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.18: BROCA #5, HUECO 8.5” FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
VHR 12D	MX-S18	7,407	TIY	507	29	17	22	60	21,328	6.90	170	179
VHR 18D	GX-09H	7,156	TIY	376	15	25	22	40	24,870	6.78	169	81
VHR 19D	GX-30DX0	7,238	TIY	460	19	24	26	70	24,870	6.78	157	181
VHR 24D	MXL-S11	7,560	TIY	637	23	27	30	40	21,328	6.92	119	103
VHR 22D	GX-09	7,210	TIY	493	20	25	15	50	18,653	6.72	134	70
VHR 21D	TD41M	7,462	TIY	372	10	37	30	40	16,429	7.09	127	76

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.19 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIÓN CONGLOMERADO TIYUYACU



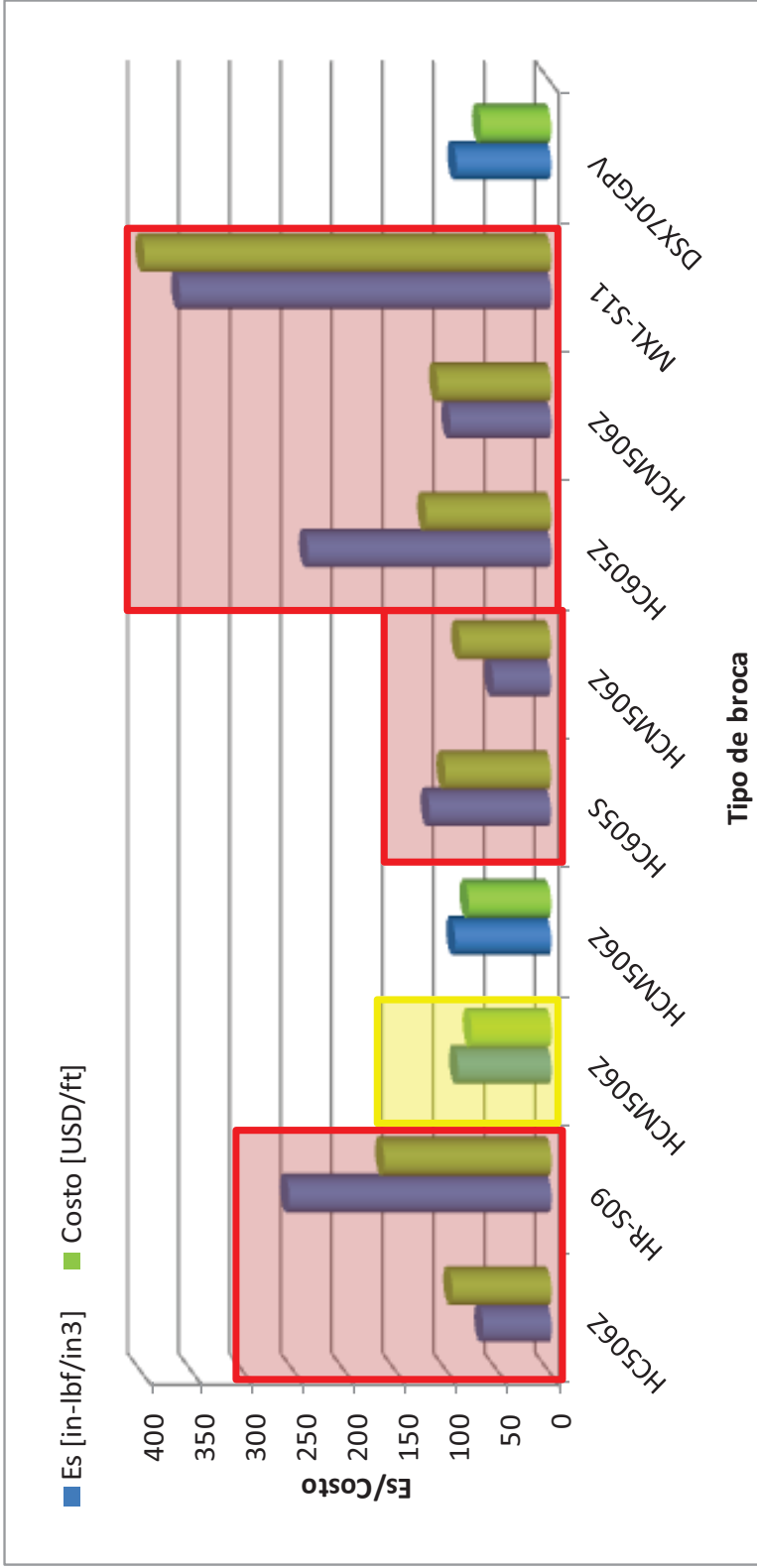
ELABORADO POR: Walter Haro

TABLA 2.19: BROCA #6, HUECO 8.5” FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-BASAMENTO

Pozo	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
VHR 12D	HC506Z	8,294	TIY/TEN/NAP	887	29	31	22	40	21,328	7.41	97	67
	HR-S09	8,922	NAP/HLLN/BAS	628	37	17	37	50	21,328	8.29	164	257
VHR 18D	HC506Z	8,669	TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS	1,513	44	34	22	60	24,870	7.16	78	91
VHR 19D	HC506Z	8,675	TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS	1,437	44	33	22	60	24,870	7.24	81	94
VHR 24D	HC605S	8,347	TIY/TEN/NAP	787	26	30	22	70	21,328	7.56	103	119
	HC506Z	9,260	NAP/HLLN/BAS	913	25	37	22	40	21,328	8.35	89	56
VHR 22D	HC605Z	7,970	TIY/TEN	760	34	22	25	90	18,653	7.21	123	239
	HC506Z	8,901	TEN/NAP/HLLN/BAS	931	39	24	20	50	18,653	7.97	111	99
	MXL-S11	8,945	BAS	44	5	9	22	60	18,653	8.90	999	365
VHR 21D	DSX70FGPV	9,020	TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS	1,558	43	36	24	60	16,429	7.46	69	93

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 2.20 COMPARACIÓN BROCAS FORMACIONES TENA-NAPO-HOLLIN-BASAMENTO



ELABORADO POR: Walter Haro

CAPÍTULO III

SELECCIÓN DE BROCAS PARA LAS DIFERENTES SECCIONES DE PERFORACIÓN

3.1 PLANIFICACIÓN DEL PERFIL E HIDRÁULICA DEL POZO

De acuerdo a los cálculos efectuados de las tabla 2.8 a la tabla 2.19, siguiendo el método de energía mecánica específica para la selección de brocas para el campo Cuyabeno-VHR, se identificaron las brocas que tienen el mejor rendimiento en las respectivas perforaciones, altas ratas de penetración y bajos tiempos de perforación. Antes de presentar el programa de brocas para cada campo se debe tomar en cuenta algunas consideraciones.

Para presentar el tipo de brocas que se va a utilizar en la perforación de un nuevo pozo de petróleo, se debe conocer el esquema mecánico de los pozos que para desarrollar los campos, es decir la planificación que tiene cada compañía operadora para perforar el pozo.

Esta planificación contiene:

- Tipo de pozo.
- Diámetro de casing.
- Puntos de asentamiento del casing.

Determinados estos tres puntos de la planificación, se estudia la columna estratigráfica para establecer que intervalo perfora cada broca y las profundidades a las cuales se necesitan efectuar los cambios de broca para continuar con una perforación rápida y eficiente.

Se propone un plan hidráulico para cada una de las brocas, así como el estudio de pérdidas de presión del pozo modelo de cada campo en el espacio anular y en la sarta de perforación, basado en las formulas del subcapítulo 1.5.

El anexo 3, contiene la hidráulica de las brocas utilizadas durante la perforación de los pozos analizados del campo Cuyabeno-VHR.

3.2 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO CUYABENO

Para el campo Cuyabeno, se planea perforar pozos tipo "S", cuyo objetivo primario es alcanzar, en la formación Pre-Cretácico a 8190 pies TVD, con un hueco de 8 ½". El esquema mecánico de los pozos está planificado de la siguiente manera:

Primero se perfora verticalmente un hueco de 26" hasta 330', para asentar un revestidor conductor de 20" @ 330' TVD.

Se perfora un hueco de 16", hasta alcanzar el tope de la formación Orteguzza, se asienta un casing de 13.375" @ 4530 TVD.

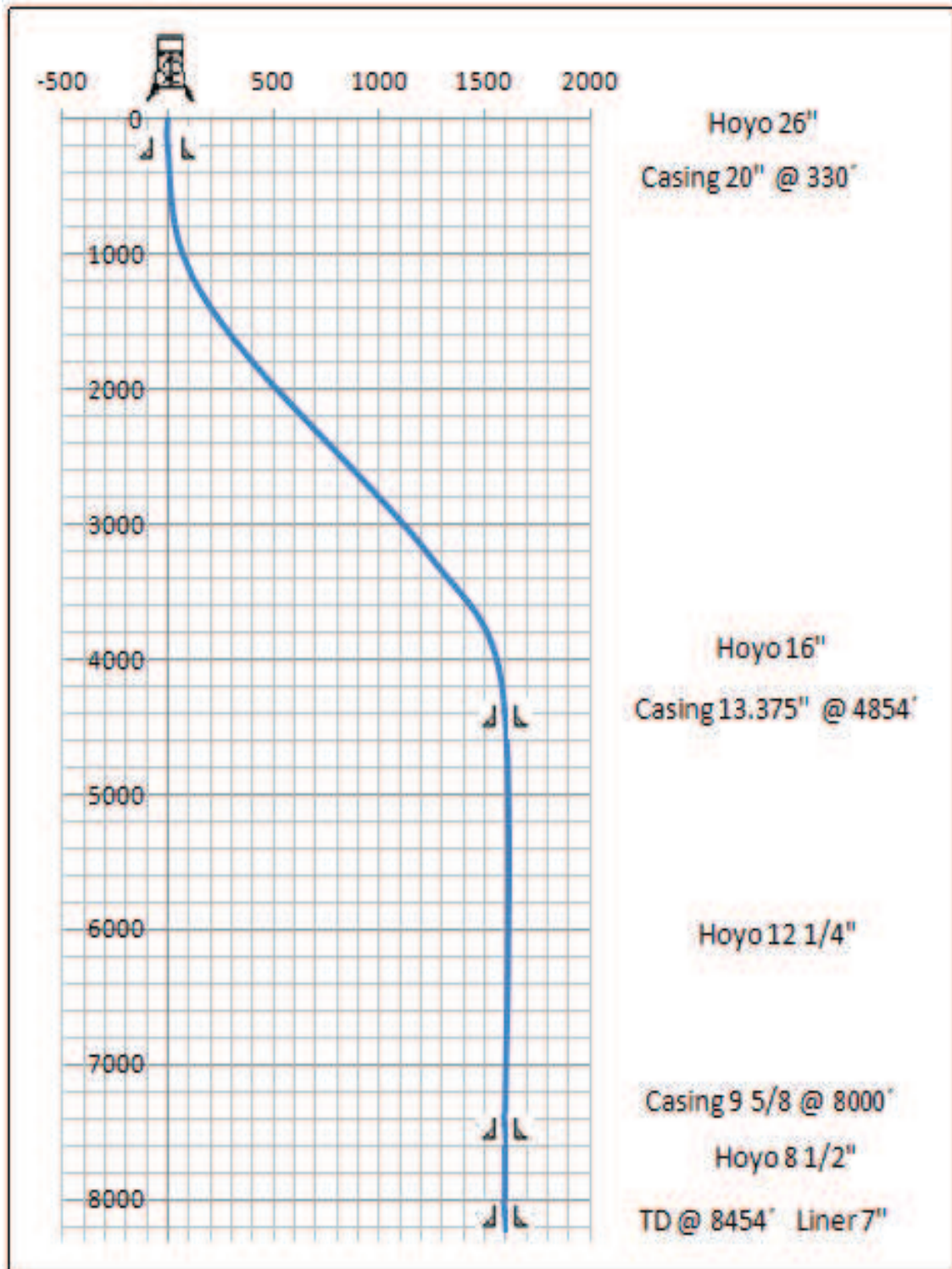
Se continua perforando un hueco de 12.25" hasta alcanzar la Caliza A aproximadamente a 7640 pies. El revestidor de 9 5/8" será asentado @ 7640' TVD.

Finalmente se perforará un hueco de 8 ½', hasta el TD. El liner de 7" será asentado @ 8190' TVD.

La figura 3.1, muestra el esquema mecánico del pozo modelo para el campo Cuyabeno, la geometría del pozo es el punto de partida para el cálculo de la hidráulica de perforación.

La figura 3.2, muestra detalladamente el plan de brocas, profundidades, litología, diámetro y tipo de las brocas seleccionadas. A continuación, se detalla el plan de brocas para el campo Cuyabeno.

FIGURA 3.1 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO CUYABENO.



FUENTE: EP Petroecuador.
ELABORADO POR: Walter Haro

3.2.1 PROGRAMA DE BROCAS CAMPO CUYABENO

Se recomienda el siguiente plan de broca. La tabla 3.1, muestra el programa de brocas seleccionado para el campo Cuyabeno, además cuenta con los intervalos determinados de perforación y los parámetros operacionales recomendados para cada broca.

En primer lugar se utiliza la broca tricónica tipo T11 para la sección de 26", seleccionada de la tabla 2.8. La segunda sección, de 16" se utiliza una broca PDC tipo RSR519M, ver tabla 2.9, hasta alcanzar el tope de la formación Orteguzza. Para realizar los trabajos en la sección de 12 ¼", se seleccionaron las brocas resaltadas en las tablas 2.10, 2.11 y 2.12.

Las brocas escogidas son PDC a excepción de la broca tricónica tipo TD41AMPC, que se utiliza para atravesar el conglomerado de la formación Tiyuyacu. Esta sección, inicia la perforación con la broca tipo DSX104DGJNSU, la broca tipo RSX192HFGSW, se utiliza para alcanzar el conglomerado de Tiyuyacu, en este punto se perfora con la broca TD41AMPC.







Para llegar a la Caliza A, aproximadamente 1000 [ft] por debajo del conglomerado, se utiliza una broca tipo DSR619M de 12 ¼", intervalo correspondiente a las formaciones Tena y Napo. Finalmente para perforar la sección de 8 ½" una broca PDC tipo DSR619M es la recomendada. Ver tabla 2.13.

TABLA 3.1: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO CUYABENO

Nº	Tamaño [in]	Tipo de Broca	Profundidad de Salida MD [ft]	W [kbs]	N [rpm]
1	26	T11	330	2 - 12	30 - 60
2	16.00	RSR519M	4,854	5 - 10	40 - 60
3	12.25	DSX104DGJNSU	5,928	5 - 14	40 - 60
4	12.25	RSX192HFGSW	6,412	5 - 12	40 - 60
5	12.25	TD41AMPC	7,036	2 - 10	40 - 60
6	12.25	DSR619M	8,000	8 - 20	40 - 60
7	8.5	DSR619M	8,454	8 - 20	40 - 60

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.2 PLAN DE BROCAS CAMPO CUYABENO.

PROF TVD (ft) 0'	LITOLOGIA	FORMACION	DIAM	BROCA		BROCAS PROPUESTAS / COMENTARIOS						
				INTERVALO (MD)	TIPO (IADC)							
0' - 500'	[Lithology Column]	T.I.	26"	330	T11 (115M)	 <p>26" T11: BROCA CON COJINETES SELLADOS, DE DIENTES LARGOS, PROTECCION EN LAS PATAS</p>  <p>16" RSR519M LINEA DE BROCAS ROTARY STEERABLE, CUERPO DE MATRIZ, 5 ALETAS, CORTADORES RAPTOR DE 19mm.</p>						
500' - 1,000'		T.I.	16"	4,524'	BROCA RSR519M (M323)							
1,000' - 1,500'												
1,500' - 2,000'												
2,000' - 2,500'												
2,500' - 3,000'												
3,000' - 3,500'												
3,500' - 4,000'												
4,000' - 4,500'												
4,500' - 4,854'												
4,854' - 5,000'	ORTEGUAZA	12 1/4"	3,146'	DSX104DG.JNSU (M323)	 <p>12 1/4" DSX104DG.JNSU 5 ALETAS, CORTADORES TReX de 19mm</p>							
5,000' - 5,500'												
5,500' - 6,000'	TIYUYACU					RSX192HFGSW (S322)	 <p>12 1/4" RSX192HFGSW CUERPO DE ACERO 5 ALETAS, CORTADORES TReX de 19mm.</p>					
6,000' - 6,500'												
6,500' - 7,000'	TENA							TD41AMPC (417)	 <p>12 1/4" TD41AMPC TRICONICA, SELLO RADIAL DE CAUCHO</p>			
7,000' - 7,500'	NAPO									DSR619M (M323)	 <p>12 1/4" DSR619M 6 ALETAS, PROTECCION EXTRA EN EL CALIBRE, CORTADORES DE 19 mm</p>	
7,500' - 8,000'	HOLLIN							8 1/2"	454'			DSR619M (M323)
8,000' - TD@ 8,454'										PRECRETACICO	<p>9 5/8" CSG @ 8,000'</p> <p>7" LINER @ 8,454'</p>	
SIMBOLOGIA								ARCILLA	LUTITA	PRECRETACICO		
								CALIZA	CHERT			

ELABORADO POR: Walter Haro

3.3 EJEMPLO DE CÁLCULO Y SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Los cálculos de las caídas de presión en el anular, sarta de perforación, hidráulica de la broca y optimización del área de las boquillas, se realiza al final de la sección de 8.5 pulgadas hasta superficie, como ejemplo de cálculo, utilizando el programa hidráulico que se basa en las fórmulas detalladas en el subcapítulo 1.5, “hidráulica de perforación”. Para realizar el análisis hidráulico de la broca, se toma como ejemplo la broca tipo DSR619M de la sección de 8.5 pulgadas.

El programa de simulación hidráulica consta de 3 secciones generales como muestran las figuras 3.1, 3.2 y 3.3, cada sección general se encuentra dividida de acuerdo a los cálculos que realiza. Los datos se ingresan en los casilleros de color verde y en la sección datos y los resultados se indican en los casilleros de color celeste.

Sección 1, datos:

- Datos sobre el pozo.
- Datos de la broca.
- Datos del fluido de perforación.

Sección 2, pérdidas de presión.

- Pérdidas de presión en el anular y velocidad crítica.
- Pérdidas de presión en la sarta de perforación.

Sección 3, análisis hidráulico de la broca.

- Análisis hidráulico de la broca.
- Selección de jets (optimización).

3.3.1 PROCEDIMIENTO DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

- Ingresar los datos requeridos en la sección 1. Ver figura 3.3.

- Ingresar los datos de diámetro mayor (diámetro de la broca), diámetro menor (diámetro tubería de perforación) y longitud de la sección, de acuerdo a la geometría del pozo en la sección 2, pérdidas de presión en el anular. Ver figura 3.4.
- Ingresar los datos, diámetro interior de la tubería de perforación y la longitud de la sección, en la sección 2, pérdidas de presión en la sarta de perforación. Ver figura 3.5.
- En la sección 3, análisis hidráulico de la broca, ingresar la presión de superficie. Ver figura 3.6.
- En la sección 3, selección de los jets (optimización), ingresar los datos de presión máxima en superficie, caudal de la bomba 1, caudal de la bomba 2, densidad del fluido, presión de bomba 1 y presión de bomba 2. Ver figura 3.7.
- Realizar los cálculos de hidráulica de la broca, con los resultados obtenidos en la sección 3, selección de los jets (optimización).

Los datos de caudal, profundidad, densidad del fluido, lecturas del viscosímetro y boquillas de la broca son necesarios para realizar los cálculos y se deben ingresar en la sección 1, datos. Como se muestra en la figura 3.3.

FIGURA 3.3 SECCIÓN 1, DATOS.

		ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL					
		INGENIERÍA EN PETRÓLEOS					
		PROGRAMA DE HIDRÁULICA					
DATOS	DATOS DEL FLUIDO	Ø	Fann [lbs/100pies]		Profundidad (TVD) [ft]	8110	
		600	12		Diámetro del hoyo [in]	8.5	
		300	9		TUBERÍAS DE REVESTIMIENTO		
		200	9		REVESTIMIENTO SUPERFICIAL	Profundidad [ft]	
		100	8		Tipo		
		6	7		Diámetro Externo [in]		
		3	7		Diámetro Interno [in]		
		Densidad [ppg]		10.4		REVESTIMIENTO INTERMEDIO	Profundidad [ft]
	BROCA	Diámetro [in]	8.5		Tipo		
		No. Jets	6		Diámetro Externo [in]		
		JETS		12	12	Diámetro Interno [in]	
				12	12		
				12			
				12			
		Caudal [gal/min]					520

ELABORADO POR: Walter Haro

Para realizar los cálculos de la sección 2, pérdidas de presión en el anular y en la sarta de perforación, se debe tener en cuenta la geometría del pozo, de esta depende el número de caídas de presión parciales, se pueden realizar los cálculos para 8 intervalos o secciones a la vez, en esta sección se pueden realizar cálculos de densidad equivalente de circulación, velocidad crítica.

FIGURA 3.4 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL ANULAR.

PÉRDIDAS DE PRESIÓN								
PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN EL ANULAR Y VELOCIDAD CRÍTICA								
SECCIONES	1	2	3	4	5	6	7	
Diámetro mayor (D2) [pulg]	8.50000	9.62500	13.37500	20.00000				
Diámetro menor (D1) [pulg]	5.00000	5.00000	5.00000	5.00000				
Longitud de la sección [ft]	454.00000	3145.00000	4524.00000	330.00000				
Velocidad del fluido [ft/s]	3.36762	2.35243	1.03398	0.42432				
Índice de comportamiento del flujo (na)	0.05457	0.05457	0.05457	0.05457				
Factor de consistencia (Ka)	32.72343	32.72343	32.72343	32.72343				
Viscosidad efectiva μ_{ea} [cp]	30.91109	56.47490	215.36635	867.32374				
Número de Reynolds (Rea)	3315.23442	1674.98507	349.58846	63.80299				
ReL (Flujo Laminar a Transicional)	3395.23604	3395.23604	3395.23604	3395.23604				
ReT (Flujo Transicional a Turbulento)	4195.23604	4195.23604	4195.23604	4195.23604				
Tipo de Flujo	Laminar	Laminar	Laminar	Laminar				
Factor de fricción para flujo Laminar	0.00724	0.01433	0.06865	0.37616				
Factor de fricción para flujo Turbulento								
Factor de fricción para flujo Transicional								
Caída de presión (Pa) [psi]	4.29117	21.72645	15.97580	0.60038				
Velocidad crítica [ft/s]	3.40915	3.38260	3.32672	3.27278				
Caudal Crítico [GPM]								
Solo cuando $V_a > V_c$								
Pérdida de presión total [psi]					42.59380			
Densidad equivalente de circulación [ppg]					10.50100019			

Datos

Resultados

ELABORADO POR: Walter Haro

Para realizar estos cálculos es necesario ingresar los datos de caudal, profundidad, densidad del fluido y lecturas del viscosímetro en la sección de datos.

Los datos de diámetro menor, diámetro mayor y longitud de cada sección se deben ingresar en los casilleros verdes como se muestra en las figuras 3.3 y 3.4.

Los resultados se mostrarán en los casilleros de color celeste, el objetivo de esta sección es obtener la pérdida de presión total en el espacio anular y la pérdida de presión en la sarta de perforación.

FIGURA 3.5 SECCIÓN 2, PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA SARTA.

PÉRDIDAS DE PRESIÓN EN LA SARTA DE PERFORACIÓN								
SECCIONES	1	2	3	4	5	6	7	8
Diámetro interior (D) [pulg]	4.276	3						
Longitud de la sección [ft]	7632	822						
Velocidad del fluido [ft/s]	8.70261	17.68000						
Índice de comportamiento del flujo (np)	0.41480	0.41480						
Factor de consistencia (Kp)	3.46172	3.46172						
Viscosidad efectiva μ_{ep} [cp]	15.80009	8.48091						
Número de Reynolds (Rep)	20053.31214	53250.02652						
ReL (Flujo Laminar a Transicional)	2901.72865	2901.72865						
ReT (Flujo Transicional a Turbulento)	3701.72865	3701.72865						
Tipo de Flujo	Turbulento	Turbulento						
Factor de fricción para flujo Laminar								
Factor de fricción para flujo Turbulento	0.00347	0.00258						
Factor de fricción para flujo Transicional								
Caída de presión (Pp) [psi]	189.10975	88.98987						
Caída total de presión en la sarta [psi]	278.09963							

ELABORADO POR: Walter Haro.

En la sección 3, análisis hidráulico de la broca y selección de jets, es necesario ingresar los datos de densidad del fluido y boquillas en la sección 1, datos, para realizar los cálculos.

Ingresar los datos en los casilleros de color verde y los resultados se obtiene en los casilleros de color celeste. En la figura 3.7 se puede ver las zonas donde se deben ingresar los datos y las zonas de los resultados.

FIGURA 3.6 SECCIÓN 3, ANÁLISIS HIDRAULICO DE LA BROCA

ANÁLISIS HIDRÁULICO DE LA BROCA	
Presión en superficie [psi]	2700
Pérdida de presión en la Mecha (ΔP_b) [psi]	589.558471
Caballaje de Fuerza hidráulica en la Mecha (HHPb) [HP]	178.862546
Caballaje hidráulico por pulgada cuadrada [HP/in ²]	3.14401985
Velocidad de las Boquillas de la Mecha (Vn) [ft/s]	251.092593
Fuerza de impacto (IF) [lbs]	703.579658
Fuerza de impacto por pulgada cuadrada [lbs/in ²]	12.367421
Porcentaje de pérdida de presión en la Mecha [%PSib]	21.8354989
Caballaje hidráulico del sistema [HP]	819.136523

ELABORADO POR: Walter Haro.

Finalmente, se realiza la optimización del caudal y del diámetro de las boquillas para maximizar la hidráulica de perforación según los requerimientos del caso, optimización de la fuerza de impacto o de la potencia hidráulica.

FIGURA 3.7 SECCIÓN 3, OPTIMIZACIÓN HIDRAULICA

SELECCIÓN DE LOS JETS (OPTIMIZACIÓN)		
P_{MAX} (Presión Máxima en superficie) [psi]		2700
Q1 (Caudal Bomba 1) [gal/min]		355
Q2 (Caudal Bomba 2) [gal/min]		165
ρ (Densidad del fluido) [ppg]		10.4
P1 (Presión Bomba 1) [psi]		1500
P2 (Presión Bomba 2) [psi]		1200
Área de los nozzles [in ²]	0.662678325	
Pb (Pérdida de presión en la broca) [psi]	Pb1:	274.8746419
	Pb2:	59.38077465
Pc (Pérdida total excepto la pérdida en los nozzles) [psi]	Pc1:	1225.125358
	Pc2:	1140.619225
Pendiente m	0.093284337	
Presión óptima [psi]	Por Fuerza de Impacto	2579.678213
	Por Potencia Hidráulica	2469.622867
Qopt (Caudal óptimo) [gal/min]	Por Fuerza de Impacto	217.7674995
	Por Potencia Hidráulica	136.4622729
Pérdida de Presión en la broca [psi]	Por Fuerza de Impacto	120.3217865
	Por Potencia Hidráulica	230.377133
Área de los Nozzles [pulg ²]	Por Fuerza de Impacto	0.614416231
	Por Potencia Hidráulica	0.278249676
Diámetro de los Jets [32avo de pulg]	Por Fuerza de Impacto	11.55474178
	Por Potencia Hidráulica	7.775820705

Datos

Resultados

ELABORADO POR: Walter Haro.

Los resultados que se obtiene, muestra el diámetro de las boquillas de manera que se optimice la hidráulica de perforación. Priorizando la fuerza de impacto, se obtiene mayores tasas de penetración. Priorizando la potencia hidráulica, se obtiene la limpieza óptima de la broca y del hueco.

El plan hidráulico de las brocas seleccionadas, prioriza la rata de penetración que pueden obtener las mismas, para los cálculos se toma el diámetro de las boquillas optimizando la fuerza de impacto.

3.4 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BROCAS SELECCIONADAS CAMPO CUYABENO⁵

Cada broca seleccionada es descrita con sus características técnicas, a continuación se presentan estas características, la foto de las brocas, ver figuras 3.8 hasta 3.13, y la tabla de los requerimientos hidráulicos de cada una basados en la simulación, ver tablas 3.2 hasta 3.8.

Por ejemplo, la tabla 3.2 tiene en la parte superior información como: diámetro de la broca, caudal, densidad del fluido de perforación, diámetro y número de boquillas de la broca. En la parte inferior de la tabla, se encuentra los parámetros de la hidráulica como: área total de flujo, caída de presión en la broca, caballaje hidráulico por pulgada cuadrada, velocidad del fluido en la boquilla, fuerza de impacto. Estos parámetros se calculan con el programa de simulación hidráulica, basado en las formulas del subcapítulo 1.5.

3.4.1. SECCIÓN DE 26’’

3.4.1.1 T11

Broca tricónica de dientes de acero, de la línea Titan, su código IADC es 115, es altamente resistente a la abrasión, sus dientes están soldados y recubiertos por una capa de metal duro.

Debido al posicionamiento de sus boquillas, el caudal proveniente de estas brinda una limpieza directa al gauge y a los dientes justo antes de entrar en la formación que proporciona una buena limpieza del pozo. El rango recomendado de peso sobre la broca es de 10 a 50 [klbs], y la velocidad en la rotaria es de 450-60 [RPM]. El área mínima del anular es de 55.60 pulgadas.

Esta broca va a atravesar el Terciario Indiferenciado, la litología de estas formaciones básicamente cuenta con cantos rodados (Conglomerados superficiales) y Arcillolita y debido a la dureza de esta formación se obtiene un

⁵ Información tomada de las especificaciones técnicas: National Oilwell Varco, 2012.

HSI muy bajo por lo que no se alcanza un alto ROP, se recomienda perforar controlando parámetros.

TABLA 3.2 HIDRAULICA BROCA TIPO T11

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
26	250	8,6	15	3	16	1
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0,714	96,739	14,110	0,027	112,030	124,800	0,234

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.8 BROCA DE 26'' T11



FUENTE: National Oilwell Varco

ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.2 SECCIÓN DE 16''

3.4.2.1 RSR519M

Broca PDC con IADC M323, rotor direccional, cortadores Raptor, de cinco aletas, sus cortadores primarios son de 0.75" (19.0mm), de cuerpo de matriz, cuenta con siete boquillas para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

Tiene cortadores con una capa PDC termo-resistente, esta capa provee a la broca de una doble resistencia al calor en comparación con las brocas normales y una resistencia a la abrasión de hasta cuatro veces más, estas dos características hacen que la perforación mantenga ROPs constantes.

El peso máximo sobre la broca recomendado es de 49 [klbs], el área de desalojo de residuos es de 38.10 pulgadas, se recomienda utilizar un máximo de 1100 [gpm] para lograr el mejor rendimiento posible de la broca.

TABLA 3.3 HIDRAULICA BROCA TIPO RSR519M

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
16	850	9.7	11	5	13	2
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.723	1233.390	611.658	3.034	376.055	1606.515	7.970

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.9 BROCA DE 16'' RSR519M



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco.

3.4.3 SECCIÓN DE 12.25”

3.4.3.1 DSX104DGJNSU

Broca PDC con IADC M323, de la línea estándar “DS Convencional”, cortadores “treX”, de cinco aletas, con cortadores primarios cilíndricos de 0.75” (19.0mm), termo-resistentes para soportar mayores cantidades de calor y tener menor tendencia a la abrasión.

Tiene cinco boquillas que brindan la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco. Cuenta con cortadores traseros que brindan mayor densidad de corte en la formación para incrementar el ROP y para alargar la vida útil de la herramienta.

El rango operativo recomendado de peso sobre la broca va desde 8 hasta 49 [klbs], el aérea para eliminar residuos es de 41.30 pulgadas.

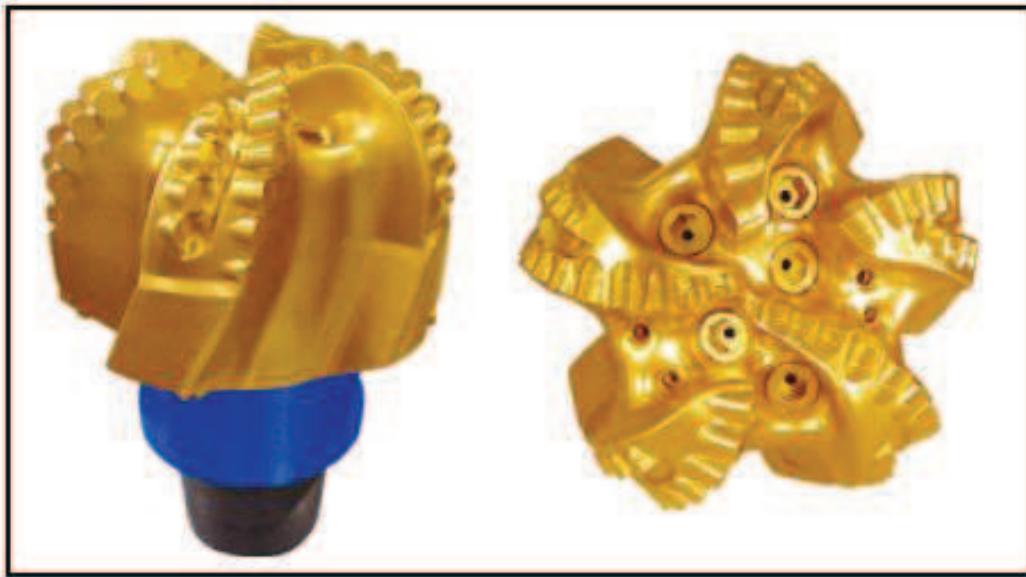
Esta broca va a perforar la parte final del Terciario Indiferenciado y atraviesa la primera sección de la formación Orteguaza, la litología que va a atravesar es de Arcillolita, Limolita, Arenisca, Anhidrita.

TABLA 3.4 HIDRAULICA BROCA TIPO DSX104DGJNSU

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	850	10.3	11	2	12	7
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.959	745.366	369.639	3.128	283.696	1286.921	10.891

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.10 BROCA DE 12.25” DSX104DGJNSU



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.3.2 RSX192HFGSW

Broca PDC con IADC S322 de cuerpo de acero, de la línea “Rotary Steerable”, cortadores “TreX” y tecnología “HardFacing (HF)” que provee a la broca de mayor resistencia a la abrasión, de cinco aletas, cuenta con siete boquillas que dan la hidráulica necesaria para realizar la limpieza del hueco.

Tiene cortadores PDC cilíndricos termo-resistentes, la broca tiene doble resistencia al calor en comparación con las brocas normales y resistencia a la abrasión cuatro veces mayor.

Está revestida de carburo que aumenta espectacularmente la resistencia del cuerpo a la abrasión. En virtud de la resistencia del acero, la posición de las aletas y el volumen de la broca, se alcanza mayores tasas de penetración.

El rango operativo recomendado de peso sobre la broca va desde 5 hasta 49 [klbs], el área de desalojo de residuos es de 41.25 pulgadas.

Con esta broca, se va a perforar la parte final de la formación Ortegua y atraviesa el conglomerado superior de la formación Tiyuyacu, la litología que va a atravesar es de Lutita, Arcillolita, Conglomerado (muy duro), Arenisca, Limolita.

TABLA 3.5 HIDRAULICA BROCA TIPO RSX192HFGSW

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	600	10.4	10	2	11	5
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.617	904.187	316.518	2.679	310.957	1005.372	8.509

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.11 BROCA DE 12.25” RSX192HFGSW



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.3.3 TD41AMPC

Broca tónica de insertos de carburo de tungsteno, de la línea de producto “TuffDuty TD”, cuenta con el sistema patentado “MudPick” y jet central para mejorar su hidráulica, diseñadas para perforar roca compactada, con código IADC 417 con sello radial de caucho y butano Nitro-Hidrogenado (HNBR).

El peso recomendado que se puede aplicar sobre la broca está en un rango de 25 a 60 [klbs]. La velocidad en la rotaria es de 250-60 [RPM]. El área mínima del anular es de 26.8 pulgadas. Esta broca, va a atravesar el conglomerado de la formación Tiyuyacu.

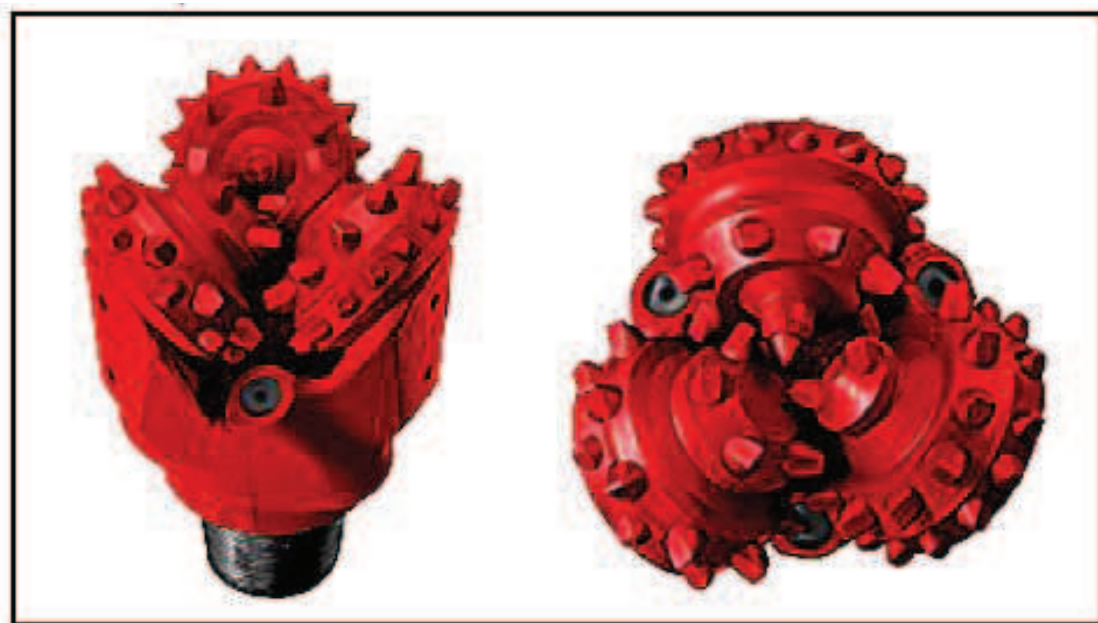
Cuenta con insertos redondos que sobresalen para disminuir el desgaste de la broca y mejorar su estabilidad sin disminuir el área de flujo anular.

TABLA 3.6 HIDRAULICA BROCA TIPO TD41AMPC

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	550	10.1	12	3	15	1
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.504	1107.721	355.453	3.008	349.254	1005.237	8.507

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.12 BROCA DE 12.25" TD41AMPC



FUENTE: National Oilwell Varco
ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.3.4 DSR619M

Broca PDC con código IADC M323, de la línea estándar DS, cortadores Raptor, de seis aletas, con cortadores cilíndricos termo-resistentes de 0.75 [in] (19.0mm) que mejoran la resistencia a la abrasión, cuerpo de matriz, cuenta con seis boquillas de tamaño variable para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

La configuración de los insertos provee de una alta resistencia a los impactos, están ubicados justo detrás de la estructura de corte primaria, minimiza los daños en los cortadores de los hombros, permite que la broca perforé intervalos más grandes a mejores tasas de penetración.

Protección del calibre termo-estable soldado con metal duro de máxima durabilidad y de alta precisión.

El diseño de flujo cruzado desde la región central de la broca hacia fuera mejora la eficiencia de la perforación.

El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 34 [klbs], la tasa de flujo hidráulica máxima es de 500 [gpm]. El JSA es de 14.15 pulgadas.

Esta broca va a perforar la sección final del pozo, atravesando las formaciones Tena, Napo, Hollin y el Pre-Cretácico, con litología Arenisca, Limolita y Arcillolita.

TABLA 3.7 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 12.25”

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	550	10.1	10	6		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.460	1328.185	426.197	3.607	382.433	1100.734	9.316

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.13 BROCA DE 12.25” DSR619M

FUENTE: National Oilwell Varco
 ELABORADO POR: National Oilwell Varco

3.4.4 SECCIÓN DE 8.5”

3.4.4.1 DSR619M

La sección de 8.5 pulgadas se perforará con la broca tipo DSR619M de similares características que la broca del mismo tipo de 12 ¼ pulgadas.

TABLA 3.8 HIDRAULICA BROCA TIPO DSR619M, 8.5”

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
8.5	520	10.4	12	6		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.663	589.558	178.863	3.144	251.093	703.580	12.367

ELABORADO POR: Walter Haro

3.6 ESQUEMA MECÁNICO DE LOS POZOS CAMPO VHR

En el campo VHR, se planea perforar pozos tipo “S” de dos secciones, y tiene como objetivo primario es alcanzar el Basamento a 8240 pies TVD con un hueco de 8 ½”. El esquema de perforación de los pozos está planificado de la siguiente manera:

Primero se perfora verticalmente un hueco de 12.25” hasta 450’, para empezar a construir el primer KOP del pozo. Se continúa construyendo el ángulo del pozo hasta 3650 pies MD (KOP#2).

La sección de 12.25” termina en la formación Tiyuyacu a una profundidad de 5928 pies MD. El revestidor de 9 5/8” es asentado @ 5928’ MD.

Finalmente se perfora verticalmente un hueco de 8 ½’, hasta la profundidad total. El liner de 7” es asentado @ 8660’ MD. La figura 3.14 muestra el esquema de perforación del pozo modelo del campo VHR.

3.7 PROGRAMA DE BROCAS CAMPO VHR

La tabla 3.9, contiene el programa de brocas escogido para el campo VHR, además tiene los parámetros operacionales recomendados para cada broca y las profundidades a las que perforan.

La primera sección de 12 ¼”, inicia la perforación con la broca tipo HC605Z, seleccionada de la tabla 2.14, llega hasta 450 pies de profundidad, punto en el que inicia el primer KOP.

La broca tipo HCM605ZX, seleccionada de las tablas 2.15 y 2.16 perfora dos etapas para lo cual se recomienda que la primera se cumpla hasta que se completen máximo 20 horas de perforación y después de este tiempo sacar la broca para evaluarla y continuara el segundo intervalo hasta los 5928 [ft], profundidad a la que finaliza esta sección.

Se continúa los trabajos con la sección de 8 ½ pulgadas con la broca tipo HC605S seleccionada de la tabla 2.17, hasta 6787 [ft]. A dicha profundidad se ocupa la broca tricónica tipo GX-09 para atravesar el conglomerado Tiyuyacu, como se observa en la tabla 2.18. Culminado el conglomerado, se utiliza una broca PDC tipo HCM506Z, seleccionada de la tabla 2.19, para completar esta sección.

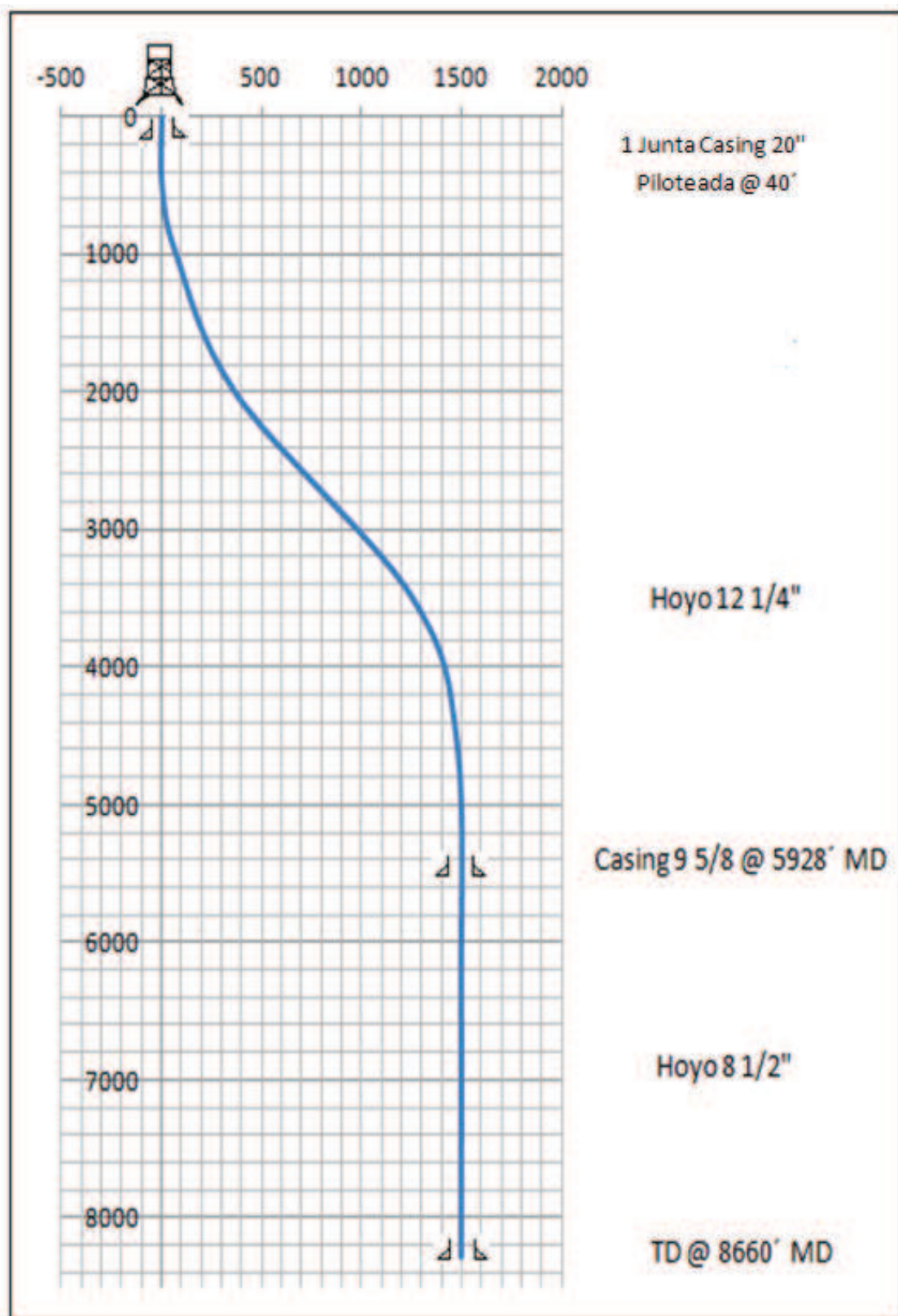
TABLA 3.9: PROGRAMA DE BROCAS CAMPO VHR

Nº	Tamaño	Tipo de Broca	Profundidad de Salida MD [ft]	W [klbs]	N [rpm]
1	12.25	HC605Z	450	10 - 25	40 - 80
2	12.25	HCM605ZX	3,650	15 - 30	60 - 80
2R	12.25	HCM605ZX	5,928	15 - 30	60 - 80
3	8.5	HC605S	6,787	2 - 15	40 - 100
4	8.5	GX-09	7,210	6 - 22	40 - 100
5	8.5	HCM 506Z	8,660	2 - 22	40 - 100

ELABORADO POR: Walter Haro








La figura 3.15, muestra el plan de brocas con sus principales características como diámetro y tipo junto con la litología y profundidades de cada una.

FIGURA 3.14 ESQUEMA DE PERFORACIÓN POZO CAMPO VHR.



FUENTE: EP Petroecuador.
ELABORADO POR: Walter Haro.

FIGURA 3.15 PLAN DE BROCAS CAMPO VHR.

PROF (ft) MD	LITOLOGIA PRINCIPAL & (TOPES)	FORMACION (ESPEJOR)	DIAM HUECO	TIPO	COMENTARIOS / BROCAS PROPUESTAS
0					
1000'			12 1/4"	HC605Z	 
2000'		HCM605ZX		<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>12 1/4" HC605Z LINÉA GÉNESIS 5 ALETAS, CORTADORES DE 19mm, 7 BOQUILLAS</p> </div>	
3000'		TERCIARIO INDIFERENCIADO		 	
4000'				<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>12 1/4" HCM605ZX LINÉA GÉNESIS 5 ALETAS, CORTADORES DE 19mm, 7 BOQUILLAS</p> </div>	
5000'			HCM605ZX (R)		
6000'		ORTEGUAZA	8 1/2"	HC605S	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>8 1/2" HC605S LINÉA GÉNESIS CUERPO DE ACERO, 5 ALETAS, CORTADORES DE 19mm, 7 BOQUILLAS</p> </div>
7000'		TIYUYACU		GX-09	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>8 1/2" GX-09 LÍNEA GX, TRICONICA DE INSERTOS DE CARBURO DE</p> </div>
8000'		TENA		HCM506Z	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>8 1/2" HCM506Z LINÉA GÉNESIS 6 ALETAS, CORTADORES DE 16 mm.</p> </div>
		NAPO			
		HOLLIN			

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LAS BROCAS SELECCIONADAS CAMPO VHR⁶

Cada broca seleccionada es descrita con sus características técnicas, a continuación se presentan estas características, la foto de las brocas, ver figuras 3.16 hasta 3.20, y la tabla de los requerimientos hidráulicos de cada una basados en la simulación, ver tablas 3.10 hasta 3.15.

Por ejemplo, la tabla 3.10, tiene en la parte superior información como: diámetro de la broca, caudal, densidad del fluido de perforación, diámetro y número de boquillas de la broca. En la parte inferior de la tabla, se encuentra los parámetros de la hidráulica como: área total de flujo, caída de presión en la broca, caballaje hidráulico por pulgada cuadrada, velocidad del fluido en la boquilla, fuerza de impacto. Estos parámetros se calculan con el programa de simulación hidráulica, basado en las formulas del subcapítulo 1.5, optimizando la fuerza de impacto.

3.8.1 SECCIÓN DE 12.25’’

3.8.1.1 HC605Z

Esta broca fue seleccionada por su excelente desenvolvimiento entre los pozos estudiados.

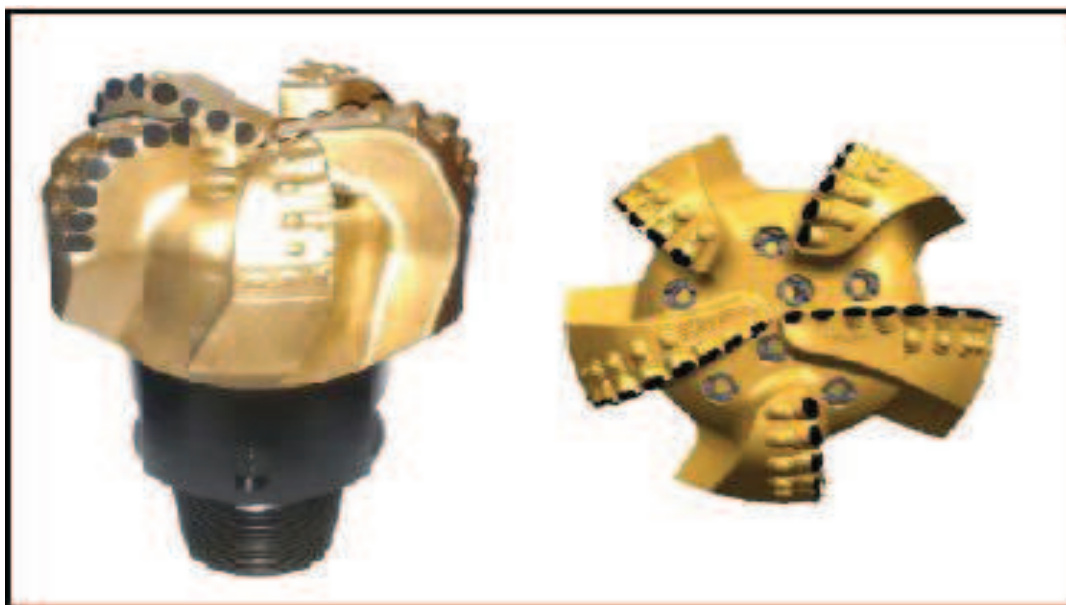
Broca con IADC M323, de la línea Génesis para perforaciones de pozos direccionales, tiene 5 aletas y en total 75 cortadores a lo largo de todas estas, cada cortador tiene un tamaño de 19 milímetros ($6=3/4$ [in]), cortadores cenit, sus siete boquillas ayudan a que los requerimientos hidráulicos de la perforación se cumplan y de esta manera optimizar la perforación con altas ratas de penetración.

A esta profundidad la broca tiene que trabajar con parámetros controlados, ya que si aumentamos el caudal del lodo podíamos dañar la formación. A esto se debe el HSI tan bajo.

⁶ Información tomada de las especificaciones técnicas: BAKER HUGHES, 2012.

Esta broca va a atravesar el Terciario Indiferenciado, la litología de estas formaciones básicamente cuenta con cantos rodados (Conglomerados superficiales) y Arcillolita.

FIGURA 3.16 BROCA DE 12.25'' HC605Z



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

TABLA 3.10 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605Z

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	200	8.5	12	7		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.773	52.201	6.091	0.052	82.778	72.913	0.617

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8.1.2 HCM605ZX

De similares características que la broca HC605Z pero proporciona mayor control en la cara de la herramienta y tasas de penetración más altas, broca PDC con IADC M223, de la línea génesis, motor direccional, de cinco aletas, con

cortadores de 0.75 (19.0mm) cuenta con siete boquillas para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 37 [klbs]. El área de desalojo de residuos es de 37.8 pulgadas, se recomienda utilizar de 550 a 1200 [gpm] para lograr el mejor rendimiento posible de la broca.

Realiza la parte final del Terciario Indiferenciado y atraviesa la primera sección de la formación Orteguzza, la litología que va a atravesar es de Arcillolita, Limolita, Arenisca, Anhidrita.

TABLA 3.11 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	850	9.6	12	8		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.884	815.321	404.331	3.422	307.830	1301.498	11.015

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.17 BROCA DE 12.25" HCM605ZX



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

**TABLA 3.12 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM605ZX
(REUTILIZADA)**

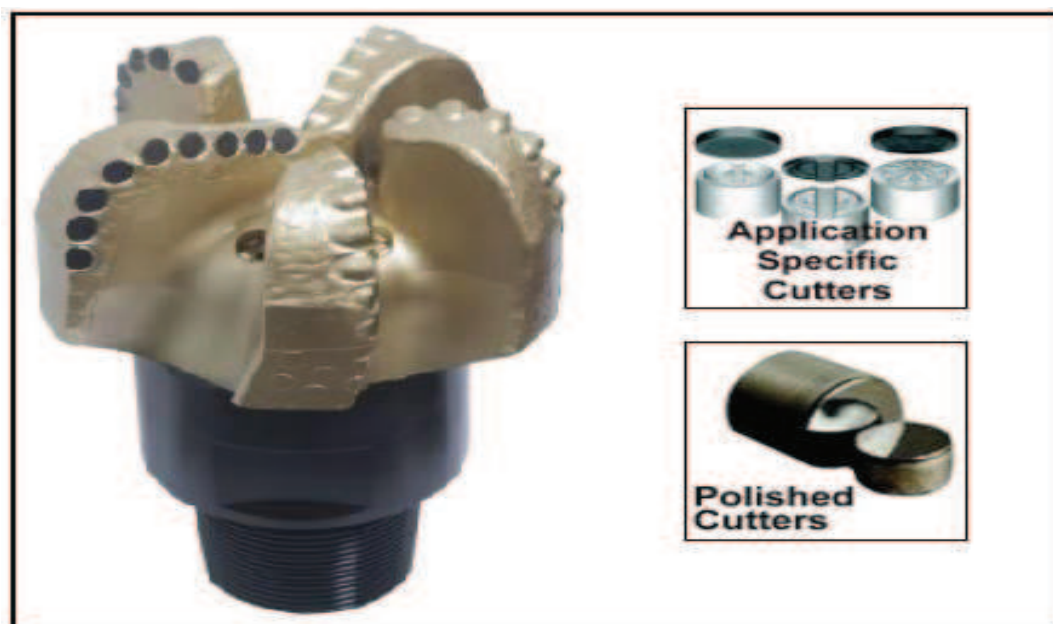
Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
12.25	920	10.1	13	8		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
1.037	729.572	391.602	3.314	283.893	1366.807	11.567

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8.2 SECCIÓN DE 8.5''

3.8.2.1 HC605S

FIGURA 3.18 BROCA DE 12.25'' HC605S



FUENTE: Baker Hughes.

ELABORADO POR: Baker Hughes.

Broca PDC de cuerpo de acero con IADC S223, de la línea Génesis de cinco aletas, con cortadores de 19 mm (6=3/4 [in]), cuerpo de acero cuenta con siete boquillas que da una hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco. El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca en de 37 [klbs].

El sistema de corte de la broca reduce las fuerzas de cizallamiento, mejora significativamente la eliminación de recortes y de esta manera logra altas tasas de penetración. Sus cortadores ofrecen muy buena resistencia a la abrasión y son especialmente diseñados para cada tipo de perforación.

La tasa de flujo hidráulica recomendada está en un rango de 550 a 1200 [gpm]. El JSA es de 48.5 pulgadas.

Realiza la parte final de la formación Orteguaza y atraviesa el conglomerado superior de la formación Tiyuyacu, la litología que va a atravesar es de Lutita, Arcillolita, Conglomerado (muy duro), Arenisca, Limolita.

TABLA 3.13 HIDRAULICA BROCA TIPO HC605S

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
8.5	550	10.1	16	3		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.589	808.070	259.299	4.558	298.776	859.949	15.116

ELABORADO POR: Walter Haro

3.8.2.2 GX-09

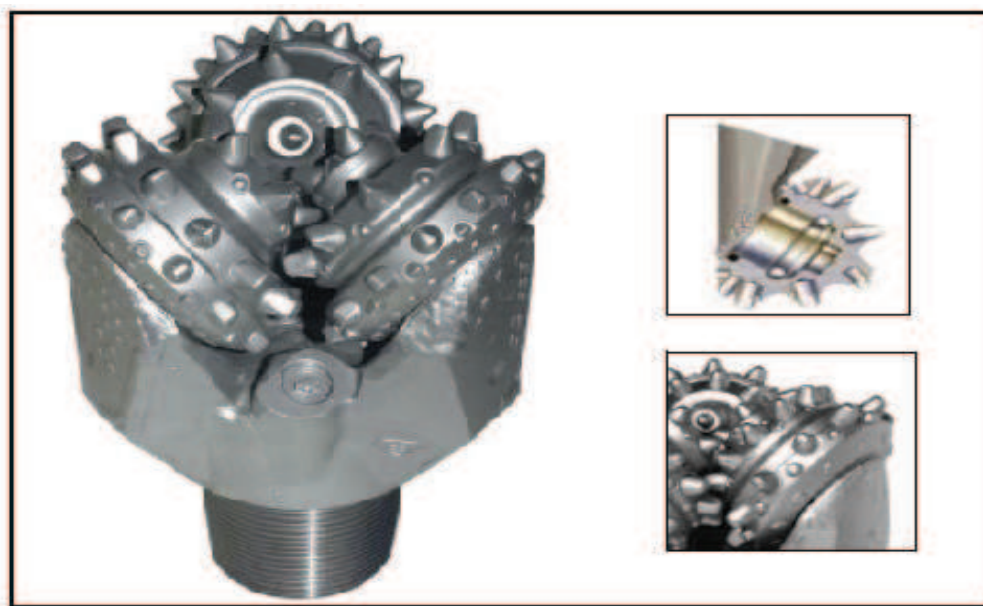
Broca tricónica de insertos de carburo de tungsteno con código IADC 437, línea de producto GX, diseñada para soportar grandes cantidades de carga de trabajo y tienen un tiempo de vida útil mayor en comparación con brocas tricónicas de dientes normales, tanto en rotación y aplicaciones de motores.

El peso que se puede aplicar está en un rango de 22.5 a 55 [klbs]. Esta broca va a atravesar el conglomerado de la formación Tiyuyacu.

TABLA 3.14 HIDRAULICA BROCA TIPO GX-09

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
8.5	600	10.2	18	3		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.746	606.310	212.244	3.731	257.531	816.626	14.355

ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 3.19 BROCA DE 12.25" GX-09

FUENTE: Baker Hughes
 ELABORADO POR: Baker Hughes

3.8.2.3 HCM506Z

Broca PDC diseñada para perforar formaciones duras y abrasivas constantemente en las altas tasas de penetración, con código IADC M223, de la línea Génesis, de seis aletas, cortadores de 16 mm (5=5/8 [in]), cortadores cenit, cuenta con seis boquillas para brindar la hidráulica necesaria para ayudar a la limpieza del hueco.

El peso máximo que se puede aplicar sobre esta broca es de 30 [klbs], la tasa de flujo hidráulica recomendada está en un rango de 300 a 750 [gpm]. El JSA es de 16.3 pulgadas.

Para mejorar la estabilidad de la broca, cuenta con tecnología LMN (mitigador de movimiento lateral) que reduce considerablemente la vibración y protege a los cortadores localizados en los hombros de la broca de los grandes impactos.

Esta broca va a perforar la sección final del pozo, atravesando las formaciones Tena, Napo, Hollin y el Pre-Cretácico, con litología Arenisca, Limolita y Arcillolita.

FIGURA 3.20 BROCA DE 8.5'' HCM506Z



FUENTE: Baker Hughes
ELABORADO POR: Baker Hughes

TABLA 3.15 HIDRAULICA BROCA TIPO HCM506Z

Información						
Dbroca [in]	Q [gpm]	ρ [lb/gal]	Dn1 [1/32 in]	N1	Dn2 [1/32 in]	N2
8.5	500	10.4	12	6		
Hidraulica de la broca						
TFA [in ²]	ΔP_b [psi]	hhpb	hhpb/in ²	Vn [ft/seg]	IF	IF/in ²
0.663	543.338	158.500	2.786	241.435	650.499	11.434

ELABORADO POR: Walter Haro

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS TÉCNICO ECONÓMICO

4.1 INTRODUCCIÓN

El análisis económico, está orientado a obtener la reducción de costos de perforación que se alcanza mediante la aplicación de los programas de brocas sugeridos en el capítulo tres, siendo este, el beneficio económico más importante del proyecto.

Para calcular los costos de perforación se toma en cuenta dos campos distintos: los costos diarios del equipo de perforación y los costos de los elementos adicionales necesarios para la perforación.

Los costos de los elementos adicionales no dependen del tiempo que dure la perforación, es decir no varían, y dentro de estos se incluyen las brocas de perforación, movilización, registros eléctricos, control litológico, tubería de revestimiento.

Los costos diarios de perforación como su nombre indica, dependen del tiempo en el que se realizan los trabajos de perforación. Entre estos tenemos la mano de obra (torre perfil), fluidos de perforación, perforación direccional y el rol de la compañía. Son estos los que dan como resultado el ahorro que representa la aplicación de la metodología de selección de brocas.

El tipo de contrato con las compañías proveedoras de brocas se realiza por "Suma Global" o "Lump Sum", es decir que se paga un solo valor por todas las brocas que se necesite para llevar a cabo el trabajo de perforación. De esta manera, la disminución en los gastos de perforación no se da por la utilización de menos brocas, si no por reducir el tiempo de perforación del pozo.

El ahorro de costos, se determina mediante la comparación de un pozo real con los pozos propuestos.

4.2 COSTOS CAMPO CUYABENO

Para realizar el análisis de costos de perforación de un pozo real del campo Cuyabeno, se utiliza el pozo Cuyabeno 32D, el tiempo de perforación de este pozo es de 16 días.

La tabla 4.1, muestra los costos de perforación del pozo Cuyabeno 32D. Con estos datos se calcula el costo diario de perforación con la siguiente fórmula.

$$CDP = \frac{\text{Costos diarios del equipo de perforación}}{\text{Tiempo total}} \quad (4.1)$$

TABLA 4.1 COSTOS POZO CUYABENO 32D⁷

Costos de perforación Cuyabeno 32D	
ACTIVIDAD	MONTO [USD]
Mano de obra (Torre perfil)	863750.80
Fluidos de perforación	168823.98
Perforación direccional	242958.96
Rol de la compañía	17850.00
Brocas	115000.00
Movilización	127822.74
Cementación	156558.27
Otros cargos, trabajo contratado y de la compañía	9754.92
Registros eléctricos	111884.64
Control litológico	18954.00
Catering	751.02
Tubería de revestimiento	263652.05
TOTAL	2097761.38

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

⁷ Datos tomados del reporte de costos de perforación del pozo Cuyabeno 32D.

Por lo tanto aplicando la fórmula 4.1, el costo de perforación diario para el campo Cuyabeno es:

$$CDP = \frac{863750.8 + 168823.98 + 242958.96 + 17850}{16}$$

$$CDP = 80836.48 \text{ USD}$$

4.2.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO

Para obtener el tiempo de perforación del pozo modelo es necesario sumar los tiempos de perforación de cada broca mas el tiempo de viaje cada vez que se realice un cambio de broca mas el tiempo de asentamiento de casing a las profundidades programadas.

La tabla 4.2, contiene en la primera columna el tipo de la broca seleccionada, en la segunda y tercera columna se pueden observar las profundidades a la cuales van a llegar cada broca y las formaciones que atraviesan respectivamente, seguido de el numero de pies perforados en la cuarta columna.

El análisis de tiempos de perforación, se encuentra en la quinta columna. El tiempo de perforación representa el intervalo que se demora cada broca en atravesar la totalidad de los pies programados para perforar en cada sección y están calculados con los ROPs estimados para cada una y estos están ubicados en la sexta columna de la tabla.

Los parámetros de perforación como el peso sobre la broca y las RPMs están en la séptima y octava columna respectivamente y cumplen con las recomendaciones técnicas de cada broca así como también con las magnitudes empleadas en los pozos analizados.

Existen dos tipos de costo de broca en esta tabla, el costo de la broca propiamente dicho producto del contrato Lump Sum, que en el caso de la

empresa National Oilwell Varco es de 115.000 [USD] por todo el programa de brocas y el segundo tipo de costo es el que representa la broca por cada pie que perfora, se lo calcula con la fórmula 2.15.

El tiempo de viaje, representa el intervalo de horas que transcurre desde el momento que está armado el BHA en superficie hasta que llega a la profundidad a perforar, de la misma manera se toma el tiempo desde que se termina de perforar una sección determinada hasta que la broca llega a superficie para ser reemplazada por una broca de distintas características acorde a las necesidades de la nueva formación.

La figura 4.1, es la representación gráfica de la tabla 4.2, la figura 4.2, constituye el tiempo de perforación del pozo modelo para el campo Cuyabeno.

Los trabajos en la primera sección del pozo, correspondiente a 26", es decir los primeros 330 [ft] conjuntamente con el asentamiento del casing de 20", tomarán un tiempo aproximado de 24 [hrs].

La sección de 16", se perfora en 0.7 días, la perforación llega hasta 4858 pies de profundidad.

La sección intermedia de 12 ¼", y todos los trabajos que involucra la perforación, incluyendo cambios de brocas, asentamiento del casing de 9 5/8", se llevara a cabo en 10 [días].

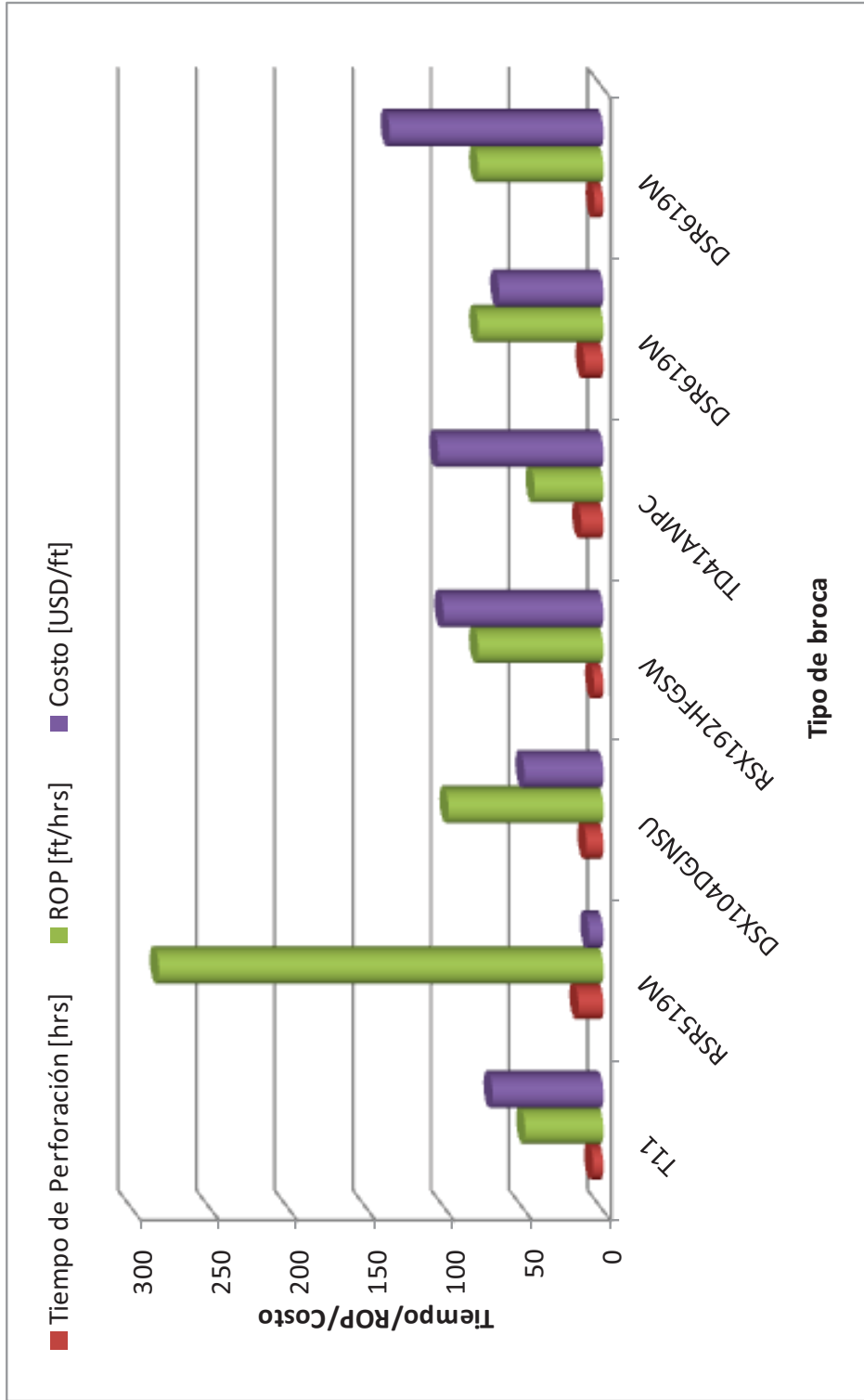
Finalmente, los trabajos en la sección de 8 ½" toma un tiempo de 3 días más, para cerrar toda la perforación del pozo en un tiempo estimado de 14 [días], que representa el menor tiempo en el que se ha perforado un pozo de petróleo en el campo Cuyabeno.

TABLA 4.2: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO CUYABENO

Tipo de Broca	Profundidad de Salida TVD [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]
T11	330	TID	330	7	50	12	40	11,500	0	71
RSR519M	4,854	TID	4,524	16	284	14	60	11,500	1	9
DSX104DGJNSU	5,928	TID/ORT	1,074	11	99	14	60	17,250	10	51
RSX192HFGSW	6,412	TIY	484	6	80	12	60	17,250	12	102
TD41AMPC	7,036	TIY	624	14	44	10	40	17,250	13	106
DSR619M	8,000	TIY/TEN/NAP	964	12	80	12	60	17,250	14	67
DSR619M	8,454	NAP/HLLN/PR-C	454	6	80	12	60	23,000	16	137

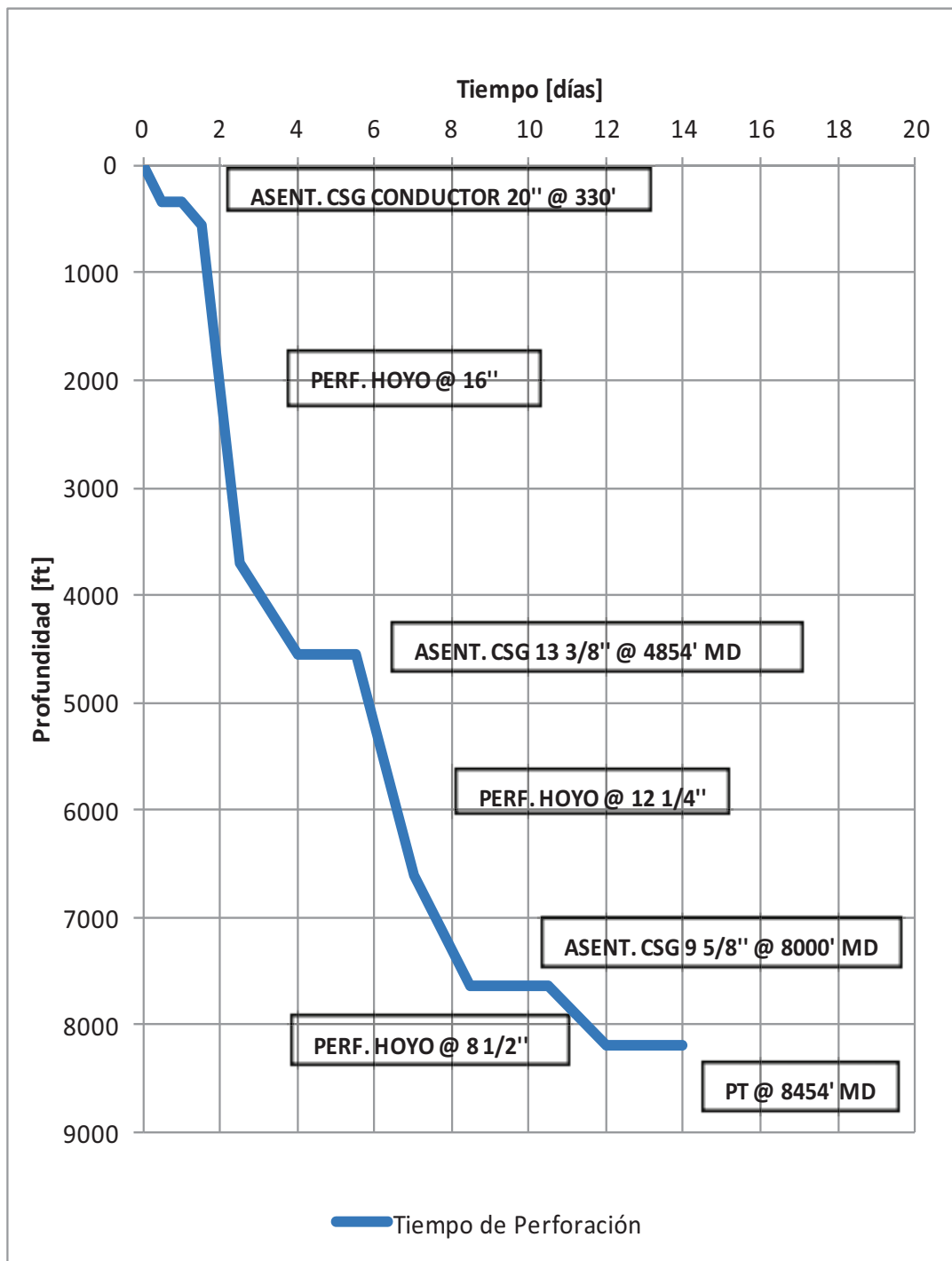
ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 4.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO CUYABENO



ELABORADO POR: Walter Haro

**FIGURA 4.2 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO
MODELO CAMPO CUYABENO**



ELABORADO POR: Walter Haro

4.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para determinar si el proyecto es viable se realizó una comparación entre los costos de perforación de un pozo real versus los costos del pozo modelo.

El costo total de perforación del pozo modelo es:

$$CPT = CEAN + CDP * tp_{\text{pozo modelo}} \quad (4.2)$$

Donde:

CPT= Costo perforación total.

CEAN= Costo de los elementos adicionales necesarios.

$tp_{\text{pozo modelo}}$ = Tiempo de perforación del pozo modelo.

Para calcular el costo total del pozo modelo se utiliza la fórmula 4.2.

$$CPT = 804377.64 + 80836.48 * 14$$

$$CPT = 1936088.41 \text{ USD}$$

El ahorro que origina el emplear la metodología de selección de brocas entre un pozo real y un pozo modelo es:

$$A = CPT_{\text{pozoreal}} - CPT_{\text{pozomodelo}} \quad (4.3)$$

$$A = 2097761.38 - 1936088.41$$

$$A = 161672.97 \text{ USD}$$

4.3 COSTOS CAMPO VHR

De la misma manera que en el campo Cuyabeno, se toma un pozo del campo VHR para realizar la comparación de costos, en este caso el pozo VHR 12D que fue perforado en un tiempo de 18 días. Con los datos de la tabla 4.3 y la fórmula 4.1 se calculó el costo de perforación diario del pozo real.

TABLA 4.3 COSTOS POZO VHR 12D⁸

Costos de perforación VHR 12D	
ACTIVIDAD	MONTO [USD]
Mano de obra (Torre perfil)	1112079.00
Fluidos de perforación	265704.66
Perforación direccional	430603.86
Rol de la compañía	22100.00
Brocas	149220.00
Movilización	127822.74
Cementación	51110.50
Otros cargos, trabajo contratado y de la compañía	30202.00
Registros eléctricos	86000.00
Control litológico	24620.00
Catering	6352.13
Tubería de revestimiento	270851.70
TOTAL	2576666.59

FUENTE: EP Petroecuador.

ELABORADO POR: EP Petroecuador.

$$CDP = \frac{1112079.00 + 265704.66 + 430603.86 + 22100.00}{18}$$

$$CDP = 101693.75 \text{ USD}$$

4.3.1 TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO

La tabla 4.4 contiene en la primera columna el tipo de la broca seleccionada, en la segunda y tercera columna se detallan las profundidades a la cuales van a llegar las brocas y las formaciones que atraviesan cada una de ellas, seguido de el numero de pies perforados en la cuarta columna.

⁸ Datos tomados del reporte de costos de perforación del pozo VHR 12D.

El análisis de tiempos de perforación se encuentra en la quinta columna. El tiempo de perforación representa el intervalo que se demora cada broca en atravesar la totalidad de los pies programados para perforar en cada sección y están calculados con los ROPs estimados para cada una y estos están ubicados en la sexta columna de la tabla.

Los parámetros de perforación tales como el peso sobre la broca y las RPMs están en la séptima y octava columna respectivamente y cumplen con las recomendaciones técnicas de cada broca así como también con las magnitudes empleadas en los pozos analizados. El costo de la broca propiamente dicho producto del contrato Lump Sum, que en el caso de la empresa Baker Hughes es de 149.220 [USD] por todo el programa de brocas.

El tiempo de viaje representa el intervalo de horas que transcurre desde el momento que está armado el BHA en superficie hasta que llega a la profundidad a la que va a empezar a perforar, de la misma manera se toma el tiempo desde que se termina de perforar una sección determinada hasta que la broca llega a superficie para ser reemplazada por una broca de distintas características acorde a las necesidades de la nueva formación. El costo de perforación por pie es el que representa la broca por cada pie que perfora, se calcula con la fórmula 2.15 y está en la décima primera columna.

La figura 4.3, es la representación gráfica de la tabla 4.4, la figura 4.4, constituye el tiempo de perforación del pozo modelo para el campo Víctor Hugo Ruales.

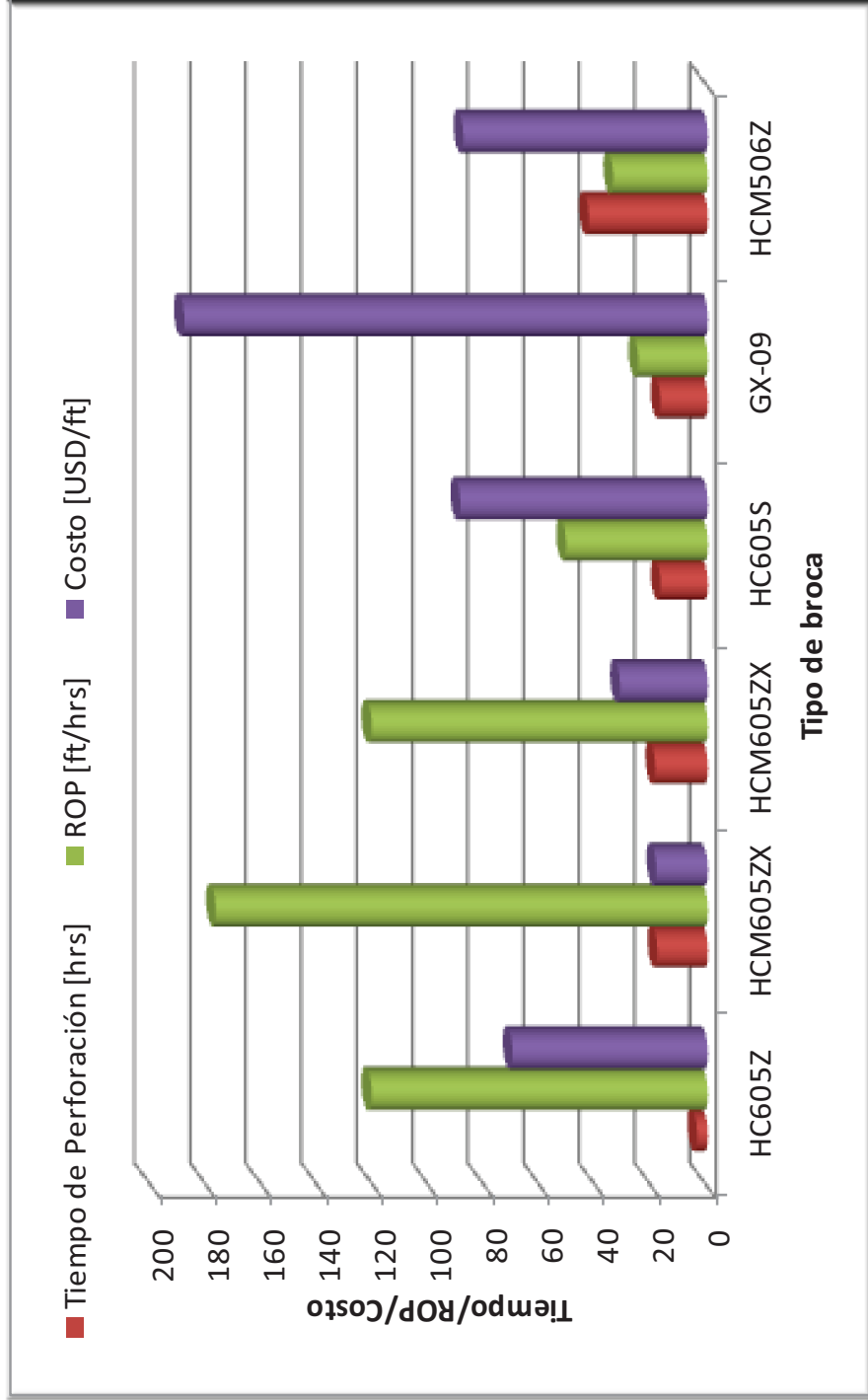
La sección de 12 ¼", y todos los trabajos que involucra la perforación, incluyendo cambios de brocas, asentamiento del casing de 9 5/8", se llevara a cabo en 6 [días]. Finalmente, los trabajos en la sección de 8 ½" se llevan a cabo en un tiempo de 8 días, para culminar toda la perforación en un tiempo estimado de 14 días, que representa el menor tiempo en el que se ha perforado un pozo de petróleo en el campo VHR.

TABLA 4.4: TIEMPO DE PERFORACIÓN POZO MODELO CAMPO VHR

Tipo de Broca	Profundidad de Salida MD [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]
HC605Z	450	TID	450	4	121	5	50	24,870	0.00	70.13
HCM605ZX	3,650	TID	3,200	18	177	12	60	24,870	0.90	18.44
HCM605ZX	5,928	TID/ORT/TIY	2,278	19	121	15	60	24,870	7.30	31.55
HC605S	6,787	TIY	859	17	51	15	40	24,870	11.86	89.06
GX-09	7,210	TIY	423	17	25	15	50	24,870	13.57	188.48
HCM506Z	8,660	TEN/NAP/HLLN/BAS	1,450	43	34	22	60	24,870	14.42	87.95

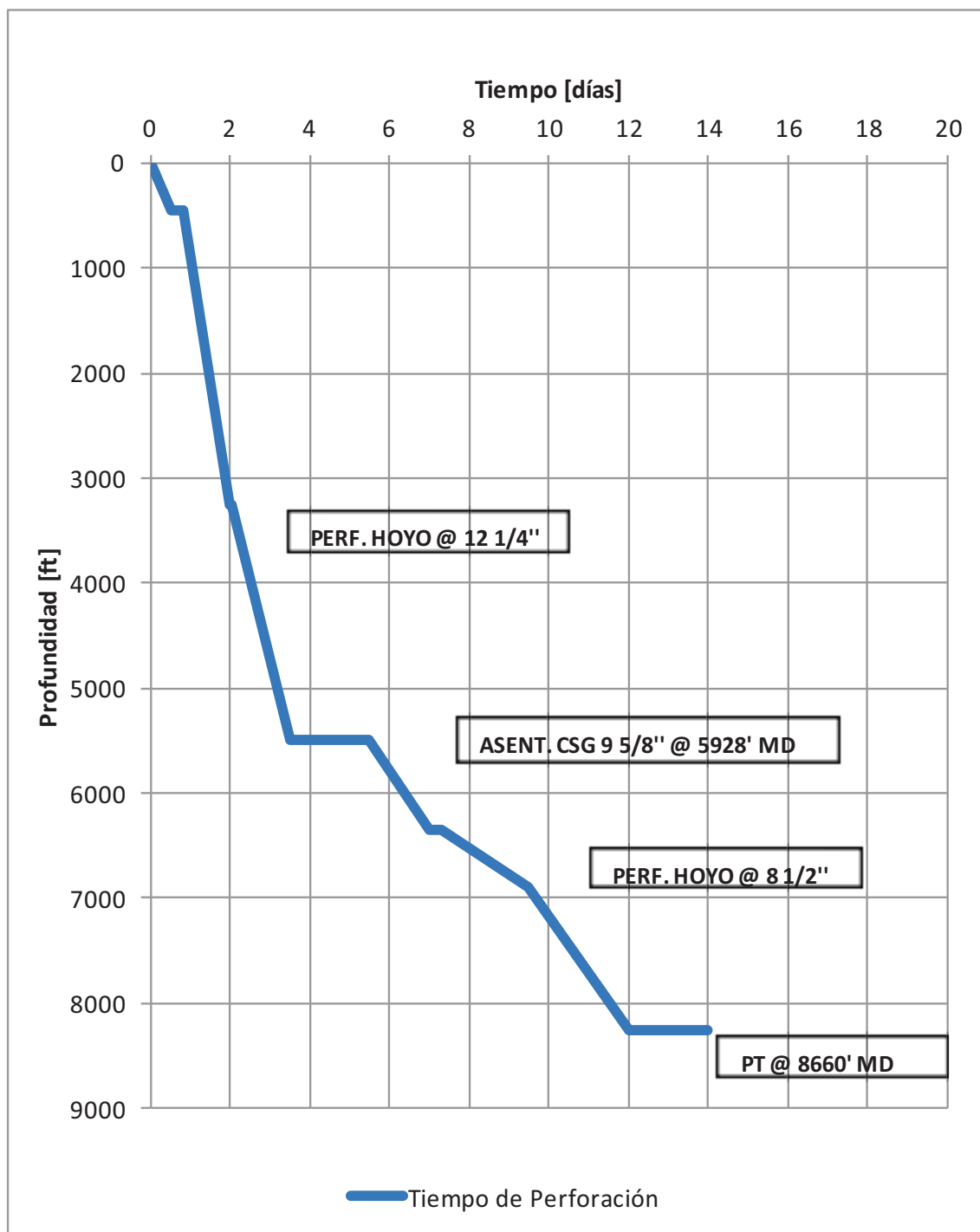
ELABORADO POR: Walter Haro

FIGURA 4.3 TIEMPO DE PERFORACIÓN POR BROCA POZO MODELO CAMPO VHR



ELABORADO POR: Walter Haro

**FIGURA 4.4 TIEMPO DE PERFORACIÓN TOTAL DEL POZO
MODELO CAMPO V.H.R.**



ELABORADO POR: Walter Haro

4.3.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El tiempo de perforación total del pozo modelo en el campo VHR aplicando el método de selección de brocas es de 14 días.

El costo total de perforación del pozo modelo para el campo VHR se calcula aplicando la fórmula 4.2.

$$CPT = 618356.33 + 101693.75 * 14$$

$$CPT = 2042068.85 \text{ USD}$$

Para determinar si el proyecto es viable se realiza una comparación entre los costos de perforación de un pozo real versus los costos del pozo modelo. El ahorro que origina el emplear la metodología de selección de brocas entre un pozo real y un pozo modelo se determina aplicando la fórmula 4.3:

$$A = 2576666.59 - 2042068.85$$

$$A = 534597.74 \text{ USD}$$

La tabla 4.5, contiene el costo de perforación de los pozos reales y pozos modelo de los campos Cuyabeno y Víctor Hugo Ruales, así como el ahorro en dólares y el porcentaje de reducción que representa utilizar la metodología de selección de brocas.

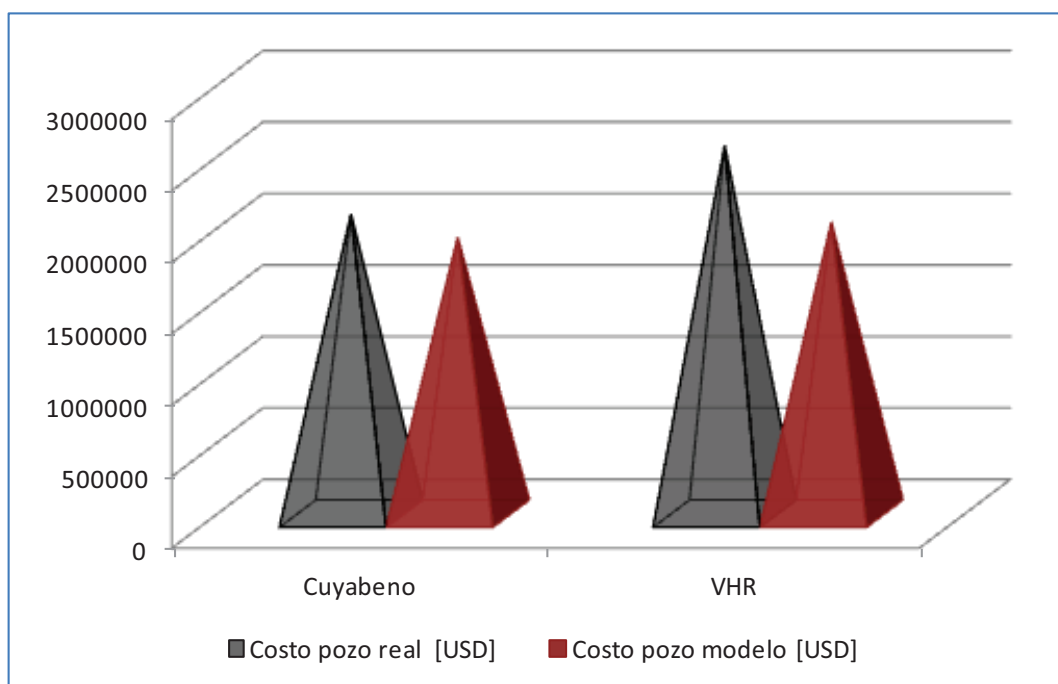
TABLA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO

Campo	Costo pozo real	Costo pozo modelo	Ahorro	Reducción
	[USD]	[USD]	[USD]	(%)
Cuyabeno	2097761.38	1936088.41	161672.97	7.71
VHR	2576666.59	2042068.85	534597.74	20.75

ELABORADO POR: Walter Haro

En la figura 4.5, se observa en el campo Cuyabeno y en el campo VHR existe un ahorro en los costos de perforación en los pozos modelo, pozos planificados mediante la metodología de selección de brocas.

FIGURA 4.5 COSTOS DE PERFORACIÓN POR CAMPO



ELABORADO POR: Walter Haro

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El método de selección de brocas mediante el cálculo de la energía mecánica específica, es confiable para evaluar distintos tipos de brocas de perforación, intervienen los parámetros más influyentes dentro de una perforación como son: la rata de penetración, el peso sobre la broca y la velocidad de la rotaria, directamente son indicadores de la eficiencia de la perforación de un pozo.
- Durante la planificación de la perforación de un pozo, los datos que se obtienen de los registros de brocas de pozos perforados anteriormente en el campo como: tipo de broca, intervalos de perforación, tiempo de perforación, peso sobre la broca, velocidad de rotación, torque, litología, entre otros, son importantes para seleccionar las brocas de mejor rendimiento y de esta manera tratar de garantizar un óptimo desarrollo de las nuevas campañas de perforación dentro del campo.
- En el campo Cuyabeno y en el campo VHR, los primeros 200 [ft] del pozo pertenecientes al terciario indiferenciado, que es una zona de cantos rodados, fueron perforados con brocas tricónicas de dientes de acero, fracturando la roca por compresión.
- En las formaciones: Tena, Basal Tena, Napo y Hollin es necesario tener brocas PDC de cortadores grandes para obtener la máxima rata de penetración posible (ROP) y de esta manera poder evitar el rápido hinchamiento de sus arcillas, además de brindar un buen diseño hidráulico y una gran área de desalojo. Ver tabla 2.13, la broca de 19mm tiene mejor desempeño que las brocas de 16mm.

- El conglomerado inferior Tiyuyacu, se perfora con broca tricónica de insertos de carburo de tungsteno por la gran resistencia que tiene a la dureza de la roca y a la abrasión y además por el alto ROP que alcanza en dicha formación. Si se utiliza una broca PDC en esta formación, los cortadores se desgastarían y astillarían prematuramente, por lo que se haría primordial un control de parámetros. Ver tabla 2.12 y la evaluación de desgaste de la broca DSR619S, anexo 1, pozo CUY 33D.
- Tanto en brocas tricónicas como en brocas PDC, para obtener un ROP óptimo, se debe aplicar peso sobre la broca antes que aumentar la velocidad rotaria, caso contrario se desestabilizaría la broca y provocaríamos retrasos en la perforación de un pozo de petróleo. Ver figura 3.8.
- El costo de perforación por pie, es un parámetro que envuelve directamente algunos de los gastos involucrados con la perforación como el costo del RIG y el costo de la broca, además de los tiempos que intervienen al momento de perforar como son el tiempo de perforación propiamente dicho y el tiempo de viaje de la broca, en cada uno de los intervalos, por lo cual el costo por pie varía dependiendo de la profundidad a la que se encuentren los trabajos. Ver fórmula 2.1.
- La selección de estos programas de brocas para el campo Cuyabeno-VHR, logra planificar la perforación de nuevos pozos de petróleo en catorce días, que representa el menor tiempo en que se ha realizado una perforación en estos campos. Ver figuras 4.2 y 4.4.
- Cuando la información útil para realizar un análisis con el fin de seleccionar una broca sea limitada, tener en cuenta aspectos básicos del diseño de una broca y de la geología del campo, es decir, una roca con alta dureza no puede ser perforada con brocas de elementos de ataque de menor dureza y de la misma manera una roca suave no va a ser perforada con eficiencia si la broca está diseñada para formaciones de mayor dureza.

5.2 RECOMENDACIONES

- Estudiar la mayor cantidad de registros de brocas de pozos perforados posibles para obtener un campo de selección de brocas más amplio, con nuevas tecnologías de brocas, de esta manera planificar el programa de brocas más adecuado para la perforación de un nuevo pozo de petróleo.
- Para perforar el primer intervalo, desde la superficie hasta 330 pies, se debe utilizar broca tricónica, como muestra la tabla 2.8, los registros de brocas muestran que los cortadores de las brocas PDC utilizadas para perforar esta sección en el campo VHR, se ha observado un gran desgaste de sus cortadores, producto de los cantos rodados.
- Para obtener un alto ROP en el Terciario indiferenciado en la sección de 16", utilizar una broca RSR519M, de 5 aletas, cortadores de 19 mm, cuerpo de matriz, con un área de desalojo de residuos suficientemente grande para llegar a la formación Orteguaza de manera óptima, como se observa en la tabla 2.8 y en la figura 2.9, del pozo CUY 33D.
- Para atravesar el Conglomerado inferior Tiyuyacu se recomienda utilizar una broca con insertos de carburo de tungsteno debido a la resistencia que esta formación ofrece, determinando correctamente los topes con el propósito de perforar con seguridad dentro del intervalo y optimizar los parámetros operacionales, como se observa en la tabla 2.11 y en la figura 2.12.
- Para la sección de 8.5" se recomienda usar la broca DSR619M, broca PDC para pozos direccionales, 6 aletas, cortadores de 19 mm y cuerpo de matriz, como se indica en la tabla 2.12, tiene alta resistencia a la abrasión por sus propiedades térmicas, ideal para atravesar las intercalaciones de dureza de las formaciones Napo, Hollin y Pre cretácico.

- En el campo VHR, la broca PDC tipo HCM605ZX, de 5 aletas y cortadores de 19mm, perfora en dos intervalos. Para cumplir con los parámetros de optimización de la hidráulica de la broca, aumentar el diámetro de las boquillas para la formación de Orteguzza a 13 1/32 de pulgada, en el terciario indiferenciado perforar con boquillas de 12 1/32 de pulgada, ver las tablas 3.12 y 3.13, del subcapítulo 3.8.1.2.
- Para la última sección del pozo del campo VHR se recomienda utilizar la broca tipo HCM506Z, como se observa en la tabla 2.18, tiene 6 aletas y cortadores de 16 mm, cuenta con un sistema de amortiguadores de impacto para disminuir el astillamiento en el frente de ataque. Ver figura 3.20.
- Aplicar el programa de brocas recomendado para cada campo, proporciona mejores tasas de penetración en cada formación y demuestra que existe un ahorro de gastos para el campo Cuyabeno-VHR, de 161.672,97 [USD] y 534.597,74 [USD] respectivamente, debido a la disminución del tiempo de perforación de cada pozo. Ver tabla 4.5.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. HUGUES CHRISTENSEN. "Drill bit foundation", Versión 4-04.
2. "Barrenas e hidráulica de perforación", PDF.
3. Baker Hughes INTEQ. "Manual de ingeniería", Julio 2001.
4. WILLIAM E. JACKSON. "Making Hole", Tercera Edición, Huston, Texas, 2000.
5. KATE VAN DYKE. "The Bit", Cuarta Edición, Huston, Texas, 1995.
6. RABIA HUSSAIN. "Specific Energy as a Criterion for bit selection", SPE paper 12355, Journal of Petroleum Technology, Julio 1985.
7. HAWKER DAVID. "Procedimientos y operaciones en el pozo", Versión 3.0, Marzo 2001.
8. EP PETROECUADOR "Recaps técnicos RIG CPEB 70128", Campaña de perforación 2008-2010.
9. BAKER HUGUES, Especificaciones técnicas de brocas, 2012.
10. NOV DOWNHOLE, Especificaciones técnicas de brocas, 2012.
11. GLOSSARY OF THE PETROLEUM INDUSTRY. Segunda Edición, 1982.

ANEXOS

ANEXO No 1

**REGISTRO DE BROCAS DE LOS POZOS ANALIZADOS
DEL CAMPO CUYABENO-VHR**

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 13D

PETROPRODUCCION		CUYABENO 13D		CPEB		10128	
10:00 Hrs. 20 NOVIEMBRE, 2009		10:00 Hrs. 9 DICIEMBRE, 2009		RECUERTO MONTAÑO (MD): 19.34° AT 286° 3.56" @ 3.627.			
NO	TIPO	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD (ft)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD (ft)	PROFUNDIDAD (m)	PROFUNDIDAD (ft)
10	10	330	1082.67	330	1082.67	330	1082.67
20	12 1/4	500	1640.42	500	1640.42	500	1640.42
3	12 1/4	920	3016.73	920	3016.73	920	3016.73
20	12 1/4	4020	13203.77	4020	13203.77	4020	13203.77
4	12 1/4	5420	17782.15	5420	17782.15	5420	17782.15
5	8 1/2	6470	21391.54	6470	21391.54	6470	21391.54
6	8 1/2	8000	26246.72	8000	26246.72	8000	26246.72
7	8 1/2	8370	27457.18	8370	27457.18	8370	27457.18

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 35D

PETROPRODUCCION		CUYABENO 35D		CPEB		70128																						
Fecha y Hora de Inicio		Fecha y Hora de Fin		Latitud		Longitud																						
10:30 Hrs, 05 ENERO, 2010		2:00 Hrs, 19 ENERO, 2010		N 0° 2' 36.87"		W 76° 17' 6.288"																						
Metros y Pies de Bore		Metros		Metros		Metros																						
REVESTIMIENTOS (MD): 13.308' @ 367, 9.546' @ 5.113,																												
Bit #	Prof. (m)	Prof. (ft)	Vel. (m/h)	Vel. (ft/h)	Vel. (m/min)	Vel. (ft/min)	Vel. (m/sec)	Vel. (ft/sec)	Vel. (m/min)	Vel. (ft/min)	Vel. (m/sec)	Vel. (ft/sec)	Vel. (m/min)	Vel. (ft/min)	Vel. (m/sec)	Vel. (ft/sec)	Vel. (m/min)	Vel. (ft/min)	Vel. (m/sec)	Vel. (ft/sec)								
10	16	52	115	CM0268	3x15 1x16	372	7.5	6.3	49.6	59.5	0.0	6-13	30-80	30-80	150	215-220	8.6	TI	Acid. lin. oil. w/ an.	1	1	WT	A	E	1	NO	TD	
2	12 1/4	31	117	115362	4x16 5x19	600	6.5	5.2	35.1	43.8	0.0	4.5	30-40	30-40	80-146	319	8.7	TI	Acid. lin. w/ an.	0	0	NO	A	X	1	BT	BHA	
3	12 1/4	31	1023	118374	5x12 4x13	3,191	30.0	15.3	86.4	169.3	41.17	5-17	40	110-150	9.58' AGOSP (5.6)	800-2850	690-1000	6.3	TI	Acid. lin. w/ an.	0	1	BTCT	B/G	X	2	WT	BHA
4	12 1/4	31	M033	103665	5x12 4x13	5,515	38.0	25.9	61.2	89.8	61.46	12-17	40	110-150	9.58' AGOSP (5.6)	2700-3300	1000-260	8.8	TI	Acid. lin. w/ an. Lt. carbon	0	0	NO	A	X	1	NO	TD
5	8 1/2	25	M022	116003	2x10 5x11	6,608	23.5	18.9	46.5	58.0	5.4	4-20	60-60	240-174	AGTSSP (7.8)	2200-1900	570-480	10.6	OSTEQUAZA, TRIVACU	Acid. lin. Lt. w/ an. oil. chert	2	3	BT	A	X	1	CT	FM
6	8 1/2	25	437	R22721	3x16	6,932	12.0	9.7	27.0	33.3	9.0	10-30	40	180	AGTSSP (7.8)	1850-2200	500	10.1	TRIVACU	Cyfl-100, w/ an. acid	1	1	WT	A	E	1	RG	FM
7	8 1/2	25	M033	216547	6x12	8,430	38.0	28.7	41.6	52.3	0.6	8-20	80	214-209	AGTSSP (7.8)	2600-2400	590-590	10.4	TRIVACU, TEMA, NOVACU, TRIVACU, CSE, TACCO	Acid. lin. w/ an. Lt. oil. kash. basement	0	2	CT	TSE	X	1	WT	TD

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 30D

Petroproduccion		Cuyabeno 30D		Luzbuit		#4511487N		Lengthbit		#F1718.387W		CODO (CPFB)		36 (70128)													
Fecha y Hora de Inicio		Fecha y Hora de Fin		Caudal		Caudal		Caudal		Caudal		Caudal		Caudal													
Bit	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate	Rate												
1	16	116	AL2029	3 x 16 1 x 16	328	328	11.0	6.3	29.6	52.1	6.0	8-10	60	30-60	60	80-120	100-140	8.6	8.7	TI	1	WT	A	0	1	NO	TD
2	12 1/4	117	LB1234	3 x 16	518	192.0	4.0	3.0	48.0	64.0	6.0	8-10	50	107-120	50	400-430	350-480	8.7	8.7	TI	1	WT	A	0	1	NO	BNA
3	12 1/4	1020	RSR519M	7 x 12	3,185	2,667	36.0	19.9	74.1	134.2	48.50	4-10	60	200	400-270	500-800	8.2	8.2	TI	0	WT	A	0	1	NO	BNA	
36	12 1/4	1020	RSR519M	7 x 13	5,239	2,054	34.5	25.4	59.5	80.9	44.32	8-12	60	268	2700-3100	900-850	9.8	9.8	TI	0	WT	A	0	1	NO	BNA	
360	12 1/4	1020	RSR519M	6 x 14 1 x 15	5,272	33	1.0	0.7	33.0	50.8	6.00	12	60	268	2680	800	10.0	10.0	TI	0	WT	A	0	1	NO	TD	
4	8 1/2	1020	DSX104HG-C1	5 x 13	6,660	1,388	27.5	17.6	50.5	78.9	15.4	14	60	191-201	2700-1800	500-450	10.2	10.2	TI	0	WT	A	0	1	NO	TD	
5	8 1/2	1020	DJ30P-KPR	3 x 16	6,965	329	12.0	10.0	27.1	32.5	6.6	20	40	205	2000-2100	475-600	10.1	10.1	TI	0	WT	A	0	1	NO	TD	
6	8 1/2	1020	RSX616M-B32	6 x 12	8,525	1,540	49.0	38.2	31.4	40.3	8.4	20	60	268-220	3190-2810	600-500	10.3	10.3	TI	0	WT	A	0	1	NO	TD	

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 31D

<p>PETROPRODUCCION</p>		<p>CUYABENO 31D</p>		<p>-----</p>		<p>Latitud: N 0° 3' 10.816"</p>		<p>Longitud: W 79° 17' 18.824"</p>		<p>CPEEB</p>	
<p>15:30 Hrs. 25 MARZO, 2010</p>		<p>8:30 Hrs. 18 ABRIL 2010</p>		<p>REVESTIMIENTOS (MD): 13 3/8" @ 406', 9 5/8" @ 5,504'</p>		<p>-----</p>		<p>-----</p>		<p>-----</p>	

SECCION	DWM	MARCAS	TIPO	CSP	MCC	SWS	SQUILLES	PROF	INTERVALO	FROM	TO	REVESTIMIENTOS		TIPO	FSE	RPM	MOTOR	DILATOR		FRECCION	CALIDAD	DENS	FORMACION	LITOLOGIA	COMENTARIOS
												FROM	NETAL					PROF	NETA						
1	15	RH	R-T11	115	AL2059	3 x 16 1 x 18	100'	407	360	12.5	10.1	28.8	35.6	0.0	2-0	40-60	--	0.15	237.7	30-160	180-260	8.8	TI	Avcl. lm. csp. aren	
2	12 1/4	RH	DSR419S-F1	8322	224609	4 x 16		2,026	1,610	26.5	13.6	72.0	119.0	60.2	2-0	60	8 Baker (5S)	196.0	46.36	2750-3030	500-750	9.1	TI	Avcl. lm. arc. arc.	
3	12 1/4	RH	RSR519M-B32	M323	113811	7 x 13		3,601	1,876	36.0	21.9	53.6	85.6	47.6	2-0	60-70	8 Baker (5S)	17.54	262.8	2750-2980	850-900	9.3	TI	Avcl. lm. arc.	
SECTRACK																									
4	12 1/4	RH	TC11	117	DT2830	3 x 16		648	196	23.0	19.3	8.5	10.1	96.6	0-8	30-40	8 Baker (5S)	3.19	261.9	1015-1290	500-650	8.7	TI	Avcl. lm. arc.	
5	12 1/4	RH	DSX204HF+GPW-A1	8322	205799	6 x 13		6,506	4,867	67.0	30.3	86.2	160.3	40.8	2-24	60-60	8 Baker (5S)	0.44	366.0	1600-1836	800-930	10.2	TI	ORTEGUADA	
6	8 1/2	RH	DS619S-A3	8424	212148	1 x 11 5 x 12		6,883	1,178	20.5	13.9	57.5	84.7	19.7	2-14	60-40	8 3/4" Ultra XL (NTEQ) (5E)	1.94	276.2	2300-1740	500-480	10.0	ORTEGUADA		
7	8 1/2	RH	TD41AMPC	417	HA2096	3 x 12 1 x 15 1/2		7,036	363	10.0	8.0	36.3	44.3	6.9	6-8	40	8 3/4" Ultra XL (NTEQ) (5E)	1.63	309.9	3500	500	10.1	TI	ORTEGUADA	
8	8 1/2	RH	RSR616M-B6	M322	211048	6 x 12		8,610	1,474	56.0	40.2	26.5	36.7	30.6	6-8	60-40	8 3/4" Ultra XL (NTEQ) (5E)	2.80	366.6	3100-2190	500-480	10.3	TI	ORTEGUADA	

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record Cuyabeno 36D

Operador		Nombre del Pozo		Sitio		Coordenadas Geog		Escala #	
PETROPRODUCCION		CUYABENO 36D		CUYABENO 36D		CPEB		70128	
Hora y Fecha de Inicio		Hora y Fecha de Fin		Latitud		Longitud			
18:30 Hrs, 28 MAYO, 2010		23:00 Hrs, 11 JUNIO, 2010		N 0° 0' 46.277"		W 78° 18' 17.572"			
Metros		REVESTIMIENTOS (MD): 13.38' @ 245, 0.55' @ 5.03'							

Pozo #	Zona	Madriza	TPO	COP (MDC)	Nro. Serr.	BOLLAS (LQZ)	PROF. SALIDA (M)	INTERVALO PERFORADO (M)	PROM. PUNTA (M)	PROM. NETAS (M)	PENETRACION		TEMPO DESL. (H)	FMS	RPM NOT	RPM TOTAL	MOTOR	DATAFOR INC. (M)	DIV. (M)	PRESION BOMBA (PSI)	CALIDAD (PPM)	SERIE LOTO	FORMACION	LITOLOGIA COMENTARIOS	CONDICIONES DE REGISTRO									
											PROF. (M)	NETAS (M)													Ti	To	MDC	Low	β	Q	ODC	RP		
1U	16	RH	R-T11	115	AL2059	3 x 16 1 x 18	288	244	8.0	7.2	30.5	33.9	0.0	4-30	46-80	46-80	---	---	---	70-40	150-300	SS	Ti	Acil. (m. qd. ven)		1	1	WT	K	E	I	NO	TD	
2	12 1/4	RH	S11GP	117	DT2832	1 x 15 2 x 18	882	694	8.0	4.7	74.3	126.4	32.7	8-10	40	84-146	8" PDM (7.8)	8" PDM (7.8)	---	192.5	100-180	550-700	SS	Ti	Acil. (m. qd. ven)		1	1	WT	K	E	I	NO	BHA
3	12 1/4	RH	DSX117GJ-A2	M421	107222	5 x 12 3 x 13	4,118	3,234	36.0	20.1	85.1	160.9	28.1	4-10	40-60	103-182	8" PDM (7.8)	8" PDM (7.8)	---	186.1	3000-3300	500	SS	Ti	Acil. (m. qd. ven)		0	1	OT	T	X	I	BT	BHA
3R	12 1/4	RH	R-DSX117GJ-A2	M421	107222	4 x 12 2 x 14 2 x 15	6,641	1,525	24.0	13.8	63.5	110.5	48.2	5-18	40	135-178	8" PDM (7.8)	8" PDM (7.8)	---	226.4	3100-3400	890-920	10.2	Ti	ORTESUANA		1	1	BT	K	X	I	NO	TD
4	8 1/2	RH	DSX619S-A8	5624	201621	2 x 11 4 x 12	6,720	1,079	16.6	12.8	58.3	85.6	10.2	2-18	70-90	174-244	6 3/4" Motor (6.7)	6 3/4" Motor (6.7)	---	173.6	3500-1750	500-450	10.0	OT	ORTESUANA TIVONACU		2	3	BT	K	X	I	OT	FI
5	8 1/2	RH	R09AP	437	AT4571	1 x 14 2 x 15	7,040	320	12.0	10.2	26.7	31.4	0.0	15-20	40	180	6 3/4" Motor (6.7)	6 3/4" Motor (6.7)	---	183.1	2485-2500	500	10.1	TIVONACU		1	1	WT	K	E	I	BT	FI	
6	8 1/2	RH	MSX616M-A2C	M422	119654	6 x 12	8,570	1,530	43.0	34.7	35.6	44.1	3.0	5-20	60-90	145-234	6 3/4" Motor (6.7)	6 3/4" Motor (6.7)	---	171.0	3350-2100	500-400	10.5	TIVONACU TEMA NPOC 2014 PNE OPERACION		1	4	OT	K	X	I	2	WT	TD

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record VHR 12D

GEOGRAPHIC LOCATION Ecuador / Sucumbios		OPERATOR PETROPRODUCCION	SPUD DATE: 12-Jul-2009	TD DATE: 30-Jul-2009	DULL CHARACTERISTICS BC - Broken Cone BU - Balled Up CI - Cone Interference BT - Broken Teeth CC - Cone Drag CR - Cored				WELL TYPE DESARROLLO INYECTOR EXPLORATORIO
FIELD / AREA		WELL	WELL TYPE:	WORK TYPE:	DULL CHARACTERISTICS BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter ER - Erosion FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone OC - Off Center Wear PN - Plugged Nozzles SD - Shirlal Damage VO - Washed Out Bit				WORK TYPE DIARIO PIEPEPORADO COMBINADO LLAVE EN MANO RENDIMIENTO
VHR		VHR-12D	Desarrollo	LLAVE EN MANO	DULL CHARACTERISTICS LN - Lost Nozzle PB - Pricoked Bit RG - Ring Out TR - Tracking NO - No Dull Characteristics				
LATITUDE 0° 23' 38.305" North		CONTRACTOR / RIG	Directional Tipo "S"	LUMP SUM	DULL CHARACTERISTICS RI - Rounded Gauge SS - Set Sharpening Wear VT - Worn Teeth/Cutter				
LONGITUDE 76° 17' 24.542" West		TURNKEY CO.	PETROPRODUCCION	TARGET FM:	DULL CHARACTERISTICS AV - Avenidas "U" y "T"				
		DIRECCIONAL CO.:	Seblumberger	MUD CO.:	DULL CHARACTERISTICS Mf Svraco				

No	SIZE	MFG	TYPE	BIT INFORMATION			DEPT H OUT	DATE OUT	NET HRS	NET ROP	HRS IADC	ROP IADC	VOB	RPM ROT	PUMP PRESS	FLOW RATE	TQ	Feet SLIDE	Time SLIDE	% SLIDE	PDM TYPE	PDM AKO FACT	PDM Angle	FORMATIONS	SURVEYS		
				IADC	BLADES	CUTTER																				MM	INCH
1	12 1/4	HCC	HCD605Z	M323	5	19mm	7x12	7017206	13-Jul-09	280	280	83.33	2-4	40	50	210	300	2-5	0	0	0	-	-	TID	CI	0.84	182.3
1R	12 1/4	HCC	HCD605Z	M323	5	19mm	7x12	7017206	15-Jul-09	3542	3262	88.35	2-22	60+152	212	3260	950	2-10	693	7.27	33	15	0.16	TID	CI	34.42	180.1
2	12 1/4	HCC	QD605X	M323	5	19mm	7x13	7014548	19-Jul-09	6156	2616	38.61	5-22	60+152	212	3450	830	4-13	854	35.57	71	15	0.16	TID/ORTTY	MS/CS/LS	2.59	184.8

SECCION 12 1/4" FOOTAGE (FT) = 6158 HRS ON BOTTOM (HRS) = 74.49 ROP ON BOTTOM (FT/H) = 82.67

No	SIZE	MFG	TYPE	IADC	BLADES	CUTTER	MM	SERIAL	DATE OUT	NET HRS	NET ROP	HRS IADC	ROP IADC	VOB	RPM ROT	PUMP PRESS	FLOW RATE	TQ	Feet SLIDE	Time SLIDE	% SLIDE	PDM TYPE	PDM AKO FACT	PDM Angle	FORMATIONS	SURVEYS			
																											NAME	LITH	INCL
3	8 1/2	HCC	HC605S	S323	5	19mm	4x12, 2x13	7500823	23-Jul-09	6900	742	41.85	24.63	30.13	2-17	60+140	200	2900	500	12-20	121	5.95	34	15	0.28	A615MT850XP	MS/CS/COAL	1.32	117.21
4	8 1/2	HCC	MX-S18	447	Tricone	TCl	3x16	5057280	25-Jul-09	7407	507	17.37	31.37	16.16	2-22	60+151	211	2850	500	13-17	0	0	0	15	0.28	A615MT850XP	Chart	1.74	126.12
5	8 1/2	HCC	HC606Z	M323	6	18mm	4x12, 2x13	7116533	27-Jul-09	8294	887	30.93	35.17	25.22	2-22	40+126	166	2950	550	13-17	19	0.83	3	15	0.28	A615MT850XP	CHT/CL/LS/S/SH/LS	0.83	345.97
6	8 1/2	HCC	HR-S09	437	Tricone	TCl	3x18	5080558	30-Jul-09	8622	628	16.92	42.83	14.66	8-37	50+134	194	2750	500	12-21	0	0	0	15	0.28	A615MT850XP	MAP/RL/MBAS/AM/ENTO	1.16	340.47

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record VHR 19D

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR		SPUD DATE:		TO DATE:		DULL CHARACTERISTICS										WELL TYPE																	
Ecuador / Sucumbios		PETROPRODUCCION		30-Ago-2009		14-Sep-2009		BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter BC - Broken Cone BU - Balled Up CI - Cone Interference ER - Erosion FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone LT - Lost Teeth/Cutters PN - Plugged Nozzles SD - Shrinkal Damage WD - Washed Out Bit										DESARROLLO INYECTOR EXPLORATORIO																	
FIELD / AREA		WELL		WELL TYPE:		WORK TYPE :		DULL CHARACTERISTICS										WORK TYPE																	
VHR		VHR-19D		Desarrollo		LLAVE EN MANO		BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter BC - Broken Cone BU - Balled Up CI - Cone Interference ER - Erosion FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone LT - Lost Teeth/Cutters PN - Plugged Nozzles SD - Shrinkal Damage WD - Washed Out Bit										DIARIO PIE PERFORADO COMBINADO LLAVE EN MANO REMEDIAMENTO																	
LATITUDE		CONTRACTOR / RIG		TURNKEY CO.		TARGET FM :		DULL CHARACTERISTICS										WORK TYPE																	
0° 24' 37.764" North		CPEB 70128		Schlumberger		Areniscas "U" y "T"		BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter BC - Broken Cone BU - Balled Up CI - Cone Interference ER - Erosion FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone LT - Lost Teeth/Cutters PN - Plugged Nozzles SD - Shrinkal Damage WD - Washed Out Bit										DIARIO PIE PERFORADO COMBINADO LLAVE EN MANO REMEDIAMENTO																	
LONGITUDE		DIRECCIONAL CO.:		MUD CO.:		MUD CO.:		DULL CHARACTERISTICS										WORK TYPE																	
76° 17' 22.102" West		Schlumberger		MI Swaco		MI Swaco		BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter BC - Broken Cone BU - Balled Up CI - Cone Interference ER - Erosion FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone LT - Lost Teeth/Cutters PN - Plugged Nozzles SD - Shrinkal Damage WD - Washed Out Bit										DIARIO PIE PERFORADO COMBINADO LLAVE EN MANO REMEDIAMENTO																	
BIT INFORMATION		DEPT H OUT		INTER DRILLE		NET HRS		NET ROP		IADC HRS		IADC ROP		VOB		RPM ROT		PUMP PRESS		FLOW RATE		TQ		FEET SLIDE		% SLIDE		PDM TYPE		PDM AKO FACT		FORMATIONS		SURVEYS	
No	SIZE	MFG	TYPE	IADC	BLADES	CUTTER	MZLS	SERIAL	DATE OUT	ft.	ft.	hrs	ft/hr	ft/hr	ft/hr	ft/hr	ft/hr	psi	gpm	lb-ft	Time	Time	Time	Time	Time	Time	Angle	rev/ft	NAME	LITH	INCL	AZMTH			
1	12 1/4	HCC	HC605Z	M323	5	19mm	7x12	7014838	30-Aug-09	500	800	13.3	37.59	1-4	40	50	210	200	1-4	0	0	0	0	0	0	0	.	.	TID	CI	0.35	201.5			
1R	12 1/4	HCC	HC605Z	M323	5	19mm	7x12	7014838	1-Sep-09	3447	2847	32.95	88.44	4-13	60+144	204	3150	900	3-9	860	8.5	49	49	49	49	15	0.16	TID	CI/SI	36	169.9				
1RR	12 1/4	HCC	HC605Z	M323	5	19mm	7x13	7014838	3-Sep-09	5962	2615	45	56.89	6-18	60+134	194	3260	840	4-15	541	16.52	56	56	56	56	15	0.16	TID/ORTITY	CI/SI/Coals	2.7	177.7				
SECCIÓN 12 1/4"		FOOTAGE (FT) = 5962		HRS ON BOTTOM (HRS) = 51.02		ROP ON BOTTOM (FT/H) = 116.86																													
2	8 1/2	HCC	HC605S	S323	5	19mm	6x12	7010391	8-Sep-09	6778	816	15.45	52.82	2-17	60+162	222	2300	580	11-16	80	4.25	28	28	28	28	15	0.28	TIY	CI/SI/Coal	1.03	78.87				
3	8 1/2	HCC	GX-300X0	537	Tricone	TCI	3x16	5126328	10-Sep-09	7238	460	19.47	23.63	21.5	21.40	6-26	70+140	210	2300	500	13-16	20	20	20	20	15	0.28	TIY	Chart	0.65	219.49				
4	8 1/2	HCC	HCM506Z	M323	6	16mm	6x12	7303388	13-Sep-09	8675	1437	43.60	32.96	53.46	26.88	4-22	60+140	200	2550	500	13-23	0	0	0	0	15	0.28	TIY/TEMINAPH	CI/CI/CI/SL	0.79	176.62				

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 1 Bit record VHR 24D

GEOGRAPHIC LOCATION		OPERATOR		SPUD DATE:		TO DATE:		DULL CHARACTERISTICS										WELL TYPE																					
Ecuador / Sucumbios		PETROPRODUCCION		17-Ene-2009		1-Feb-2009		BF - Bond Failure CC - Cracked Cone CT - Chipped Teeth/Cutter ER - Erosion FC - Flat Crested Wear LC - Lost Cone OC - Off Center Wear PG - Rounded Gauge SS - Self Sharpening Wear WT - Worn Teeth/Cutter BT - Broken Teeth CD - Cone Drag CR - Cored LN - Lost Nozzle PB - Pinched Bit RD - Ring Out TR - Tracking ND - No Dull Characteristics										DESARROLLO INYECTOR EXPLORATORIO																					
FIELD / AREA		WELL		DEPT INTER Y DRILE		H OUT		NET HRS		ROP		IADC		HRS		ROP		IADC		RPM		PUMP		FLOW		TQ		SLIDE		% SLIDE		PDM		PDM		FORMATIONS		SURVEYS	
VHR		VHR-24D		ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL	
LATITUDE		CONTRACTOR / RIG		H OUT		H OUT		NET HRS		ROP		IADC		HRS		ROP		IADC		VOB		RPM		PUMP		FLOW		TQ		% SLIDE <td colspan="2">PDM</td> <td colspan="2">PDM</td> <td colspan="2">FORMATIONS</td> <td colspan="2">SURVEYS</td>		PDM		PDM		FORMATIONS		SURVEYS	
LONGITUDE		CPEB 70128		ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL	
78° 17' 31.603" West				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm		(lbs/ft)		Time		Time		Angle		LITH.		INCL			
				ft.		ft.		hrs		ft/hr		hrs		ft/hr		kbs		ROT		TOTAL		psi		gpm</															

ANEXO No 1 Bit record VHR 21D

Descripción		Número de Pozo		Latitud		Longitud		CPEB		Página #																			
PETROPRODUCCION		VHR 21D		0° 24' 37.84" N		76° 17' 21.443" W		CPEB		70126																			
Fecha y Hora de Inicio		Fecha y Hora de Fin		Metros		Metros																							
1:30 Hrs. 22 OCTUBRE, 2009		8:30 Hrs. 6 NOVIEMBRE, 2009		RE-VESTIMENTOS (MD): 9.58' @ 6.09PP'																									
Run	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP	WSP																		
#	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log	Log																		
1	12 1/4 RH	RSX519M-B29	8323	118194	7 x 12	400	356	9.0	5.9	39.6	67	0.0	0.5	36-70	36-70	80-175	110-250	8.5	11	And. lin. cgl. aren.	1	2	BT	A	X	I	CT	BHA	
2	12 1/4 RH	RSR519M-B32	8323	109465	7 x 12	3,920	3,520	37.0	36	95.1	14.1	30.8	5-18	40	194-230	8 5/8" AGOZOP (14)	1950-3250	800-600	8.6	11	And. lin. aren.	0	1	CT	T	X	I	NO	BHA
3	12 1/4 RH	RSX516S-A9	8322	220336	7 x 13	6,103	2,183	34.5	26	63.3	87	35.6	8-19	40	180-230	9 5/8" AGOZOP (14)	3000-3330	900-420	10.3	11	Orteguaza	0	0	NO	A	X	I	NO	TD
4	8 1/2 RH	DSX104HG-C1	8323	112654	5 x 12	6,507	404	10.0	6.9	40.4	58.6	0.0	6-20	80-120	PO 675 04	1850-2000	500-570	8.9	ORTEGUZA TRUYACU	And. lin. aren. lit. cgl.	2	2	BT	A	X	I	CT	DIF	
5	8 1/2 RH	RSX619M-A2	8322	212966	6 x 12	7,090	563	18.5	11.0	31.5	53.0	26.1	3-20	60-40	AB750P (7.8)	2760-1850	570-480	10.0	TRUYACU	And. lin. aren. cgl. chert.	1	2	BT	CS	X	I	CT	FM	
6	8 1/2 RH	TD41M	417	E97458	3 x 15	7,462	372	10.5	16.0	35.4	37.2	0.0	10-30	40	AB750P (7.8)	2100-2500	450-600	10.6	TRUYACU	Cgl. chert. and.	1	2	WT	A	E	I	RG8F	TQ	
7	8 1/2 RH	DSX70FGPV-A9	8424	205603	6 x 12	9,020	1,556	54.5	42.8	28.6	36.4	0.0	8-24	80-120	AB750P (7.8)	2000-3300	460-560	10.3	TRUYACU, TEMA, NAPO, HOLLIN, BALSAMENTO	Cgl. chert. and. lin. lit. aren. col. Esqueleto	2	6	BT	A	X	I	4	CTPH	TD

FUENTE: EP Petroecuador

ANEXO No 2

**MÉTODO DE ENERGÍA MECÁNICA ESPECÍFICA POR
POZO**

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 28D

POZO CUY 28D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ff]	Formación	Intervalo Perforado [ff]	Tempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³]	Es
117	GT-1	315	TID	315	3	91	10	40	24,870	0	99	7
M323	QD605X	3,377	TID	3,062	20	154	16	60	24,870	0.3	20	10
M323	QD605X	5,127	TID/ORT	1,750	14	122	16	60	24,870	3	32	13
M223	HC504ZX	6,713	ORT/TIY	1,586	18	90	17	80	24,870	5	41	36
437	GT-S09	7,055	TIY	342	14	24	20	70	24,870	7	183	138
M323	HC506Z	8,587	TEN/NAP/HLLN/BAS	1,532	38	40	22	80	24,870	7	69	103

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 13D

POZO CUY 13D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ff]	Formación	Intervalo Perforado [ff]	Tempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
115	T11	330	TID	284	6	50	-	-	-	-	-	-
117	TC11P	500	TID	170	3	53	16	50	16,429	0.3	134	25
M421	DSR419M	1,291	TID	791	6	132	4	40	16,429	1	36	2
M421	DSR419M	4,026	TID	2,735	18	156	14	40	16,429	1	18	6
S121	DSX204HF	5,623	TID/ORT	1,597	14	118	20	80	16,429	4	30	22
M223	DSX104HG	6,474	ORT/TIY	851	24	36	20	60	16,429	6	82	79
437	TD44HMFPDH	6,800	TIY	326	9	36	30	50	16,429	6	136	99
S424	DSX70FGPV	8,378	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,578	30	53	30	80	16,429	7	52	107

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 34D

POZO CUY 34D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ff]	Formación	Intervalo Perforado [ff]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³]	Es
115	T11	334	T1D	290	5	57	-	-	-	-	-	-
117	TC11P	500	T1D	166	5	34	10	40	19,167	0.3	172	19
M421	DSX117GJ	4,030	T1D	3,530	23	153	14	40	19,167	1	17	6
M422	MSX519M	5,600	T1D/ORT	1,570	11	145	22	40	19,167	4	29	10
S322	RSX192HF	6,412	ORT/T1Y	812	10	80	14	50	19,167	6	59	21
447	TD44HMKPR	6,740	T1Y	328	11	31	30	50	19,167	6	152	115
M322	RSR616M	8,295	T1Y/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,555	38	41	24	50	19,167	7	64	70

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 35D

POZO CUY 35D												
Tipo de Broca	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ff]	Formación	Intervalo Perforado [ff]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
115	T11	372	T1D	372	6	60	-	-	-	-	-	-
M323	DSX519M	600	T1D	228	5	44	5	30	19,167	0.4	128	6
M323	RSX519M	3,191	T1D	2,591	15	169	17	40	19,167	1	18	7
M323	DSR519M	5,515	T1D/ORT	2,324	26	90	17	40	19,167	3	31	12
M322	RSR516M	6,608	ORT/T1Y	1,093	19	58	20	80	19,167	6	58	65
437	DJ30FKPR	6,932	T1Y	324	10	33	30	40	19,167	7	150	85
M323	DSR619M	8,430	T1Y/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,498	29	52	20	60	19,167	7	56	54

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 29D

POZO CUY 29D												
Tipo de Broca	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ff]	Formación	Intervalo Perforado [ff]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
115	T11	367	T1D	367	6	62	-	-	-	-	-	-
117	TC11P	550	T1D	183	5	35	10	60	19,167	0.4	159	28
M323	RSR519M	3,710	T1D	3,160	18	172	10	60	19,167	1	17	6
M323	RSR519M	5,530	T1D/ORT	1,820	18	100	10	60	19,167	4	32	10
S322	RSX192HFGSW	6,620	ORT/T1Y	1,090	14	78	14	60	19,167	6	50	25
417	R01AP	6,981	T1Y	361	9	39	22	40	19,167	7	132	53
S424	DSR619S	8,526	T1Y/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,545	35	45	22	60	19,167	7	61	70

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 31D

POZO CUY 31D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³]	Es
115	T11	407	TID	360	10	36	-	-	-	-	-	-
S322	DSR419S	2,026	TID	1,378	14	101	10	60	16,429	0.4	26	8
M323	RSR519M	3,901	TID	1,875	22	86	10	60	16,429	2	32	11
SIDE TRACK												
117	TC11	648	TID	195	19	12	8	30	16,429	0.5	267	39
S322	DSX204HF+GPW	5,505	TID/ORT	4,857	30	53	24	50	16,429	1	15	12
S424	DS619S	6,683	ORT/TIY	1,178	14	85	14	60	16,429	6	44	23
417	TD41AMPC	7,036	TIY	353	8	44	20	40	16,429	7	121	42
M322	RSR616M	8,510	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,474	40	37	18	60	16,429	7	69	69

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 30D

POZO CUY 30D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
115	T11	326	TID	326	6	52	-	-	-	-	-	-
117	TC11P	518	TID	192	3	64	10	50	16,429	0.3	117	13
M323	RSR519M	3,185	TID	2,667	20	134	10	60	16,429	1	20	7
M323	RSR519M	5,239	TID/ORT	2,054	25	81	12	60	16,429	3	33	15
M323	RSR519M	5,272	Acondicionamiento	33	1	51	10	60	16,429	5	819	19
M223	DSX104HG	6,660	ORT/TIY	1,388	18	79	14	60	16,429	5	41	25
437	DJ30FKPR	6,985	TIY	325	10	33	22	40	16,429	7	143	64
M322	RSX616M	8,525	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,540	38	40	22	60	16,429	7	63	77

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 32D

POZO CUY 32D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
115	T11	410	TID	363	6	60	-	-	-	-	-	-
117	S11GP	500	TID	90	1	82	12	40	16,429	0.4	213	10
M323	DSR519M	3,753	TID	3,253	21	153	12	40	16,429	1	17	5
M323	DSX104DGJNSU	5,928	TID/ORT	2,175	22	99	12	40	16,429	4	29	8
M422	RSR519M	6,924	ORT/TIY	996	25	40	12	40	16,429	6	73	28
437	DJ30FKPR	7,252	TIY	328	13	26	26	40	16,429	7	157	94
M322	DSX616M	8,772	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,520	39	39	16	90	16,429	7	66	87
437	DJ30FKPR	8,800	PR-C	28	7	4	30	40	16,429	9	117	686

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 36D

POZO CUY 36D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³]	Es
115	T11	288	TID	244	7	34	-	-	-	-	-	-
117	S11GP	882	TID	594	5	126	10	40	19,167	0.3	47	5
M421	DSX117GJ	4,116	TID	3,234	20	161	10	40	19,167	1	18	4
M421	DSX117GJ	5,641	TID/ORT	1,525	14	111	18	40	19,167	4	34	11
S424	DSX619S	6,720	ORT/TIY	1,079	13	86	18	70	19,167	6	48	35
437	R09AP	7,040	TIY	320	10	31	20	40	19,167	7	155	60
M422	MSX616M	8,570	TIY/TEN/NAP/HLLN/PR-C	1,530	35	44	20	60	19,167	7	62	64

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica CUY 33D

POZO CUY 33D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft] [in-lbf/in ³]	Es
115	T11	415	T1D	370	7	57	-	-	-	-	-	-
M323	RSR519M	4,299	T1D	3,884	14	284	12	40	28,750	0.4	14	3
M323	RSR519M	6,268	T1D/ORT/T1Y	1,969	22	91	12	50	28,750	4	38	11
S424	DSR619S	7,380	T1Y	1,112	38	30	16	40	28,750	6	97	51
M322	RSR616M	8,850	T1Y/TEN/NAP/HILLN/PR-C	1,470	34	43	24	60	28,750	7	70	78

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 12D

POZO VHR 12D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
M323	HCD605Z	280	TID	280	3	109	4	40	21,328	0	93	2
M323	HCD605Z	3,542	TID	3,262	22	147	22	60	21,328	0.3	19	15
M323	QD605X	6,158	TID/ORT/TIY	2,616	50	53	22	60	21,328	4	45	41
S323	HC605S	6,900	TIY	742	18	42	17	60	21,328	6	87	57
447	MX-S18	7,407	TIY	507	29	17	22	60	21,328	7	170	179
M323	HC506Z	8,294	TIY/TEN/NAP	887	29	31	22	40	21,328	7	97	67
437	HR-S09	8,922	NAP/HLLN/BAS	628	37	17	37	50	21,328	8	164	257

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 18D

POZO VHR 18D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
M323	QD605X	400	TID	400	7	58	5	40	24,870	0	93	6
M323	QD605X	4,110	TID	3,710	21	176	15	80	24,870	0.4	17	11
M323	QD605X	5,933	TID/ORT/TIY	1,823	25	73	22	40	24,870	4	42	20
S323	HC605S	6,780	TIY	847	17	51	15	40	24,870	6	77	28
437	GX-09H	7,156	TIY	376	15	25	22	40	24,870	7	169	81
M323	HCM506Z	8,669	TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS	1,513	44	34	22	60	24,870	7	78	91

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 19D

POZO VHR 19D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
M323	HC605Z	500	TID	500	4	121	4	40	24,870	0	65	2
M323	HC605Z	3,447	TID	2,947	17	172	13	60	24,870	1	19	7
M323	HC605Z	5,962	TID/ORT/TIY	2,515	30	85	18	60	24,870	3	34	21
S323	HC605S	6,778	TIY	816	15	53	17	60	24,870	6	78	45
537	GX-30DX0	7,238	TIY	460	19	24	26	70	24,870	7	157	181
M323	HCM506Z	8,675	TIY/TEN/NAP/HILLN/BAS	1,437	44	33	22	60	24,870	7	81	94

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 24D

POZO VHR 24D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
M323	HCM605ZX	400	TID	400	4	91	22	60	21,328	0	73	24
M323	HCM605ZX	3,287	TID	2,887	22	129	12	60	21,328	0.4	22	9
M323	HCM605ZX	5,317	TID/ORT	2,030	19	108	20	60	21,328	3	30	18
M223	HC604	6,923	ORT/TIY	1,606	36	45	16	60	21,328	5	59	50
437	MXL-S11	7,560	TIY	637	23	27	30	40	21,328	7	119	103
S323	HC605S	8,347	TIY/TEN/NAP	787	26	30	22	70	21,328	8	103	119
M323	HCM506Z	9,260	NAP/HLLN/BAS	913	25	37	22	40	21,328	8	89	56

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 22D

POZO VHR22D												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [kbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
M323	HCM605ZX	400	TID	400	4	91	5	30	18,653	0	66	3
M323	HCM605ZX	3,571	TID	3,171	18	177	12	60	18,653	0.4	16	7
M323	HCM605ZX	5,106	TID/ORT	1,535	13	121	15	60	18,653	4	31	12
M323	HC605Z	6,717	ORT/TIY	1,611	52	31	22	90	18,653	5	75	149
437	GX-09	7,210	TIY	493	20	25	15	50	18,653	7	134	70
M323	HC605Z	7,970	TIY/TEN	760	34	22	25	90	18,653	7	123	239
M323	HCM506Z	8,901	TEN/NAP/HLLN/BAS	931	39	24	20	50	18,653	8	111	99
437	MXL-S11	8,945	BAS	44	5	9	22	60	18,653	9	999	365

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 2 Método energía mecánica específica VHR 21D

POZO VHR21												
Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Profundidad de Salida [ft]	Formación	Intervalo Perforado [ft]	Tiempo de Perforación [hrs]	ROP [ft/hrs]	W [klbs]	N [rpm]	Costo de la Broca [USD]	Tiempo de Viaje [hrs]	Costo [USD/ft]	Es [in-lbf/in ³]
M323	RSX519M	400	TID	396	6	67	5	30	16,429	0	68	4
M323	RSR519M	3,920	TID	3,520	25	141	18	40	16,429	0.4	18	8
S322	RSX516S	6,103	TID/ORT	2,183	25	87	18	40	16,429	4	31	13
M223	DSX104HG	6,507	ORT/TIY	404	7	59	20	80	16,429	6	99	64
M322	RSX619M	7,090	TIY	583	11	53	20	60	16,429	7	82	53
417	TD41M	7,462	TIY	372	10	37	30	40	16,429	7	127	76
S424	DSX70FGPV	9,020	TIY/TEN/NAP/HLLN/BAS	1,558	43	36	24	60	16,429	7	69	93

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 3

HIDRAULICA Y REOLOGÍA DE LOS POZOS PERFORADOS EN EL CAMPO CUYABENO-VHR

ANEXO No 3 Hidráulica y reología pozos perforados en el campo Cuyabeno

Pozo	Datos de Broca					Propiedades del Fluido				Hidráulica de la Broca				
	Diámetro	Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Boquillas [1/32in]	Área de Boquillas [in ²]	Flow Rate [gpm]	Peso [ppm]	PV	YP	Press Drop [psi]	Jet Vel [ft/seg]	JIF	HHP	HSI
CUY 28D	12.25	117	GT-1	3x16	768	250	8.6	3	4	142.62	135.8	151.3	20.8	0.18
	12.25	M323	QD605X	7x11	847	860	9.2	8	11	1,484.34	423.6	1736.6	744.8	6.30
	12.25	M323	QD605X	7x13	1,183	870	10.2	12	14	863.34	306.8	1410.7	438.2	3.71
	8.5	M223	HC504ZX	6x12	864	550	10.1	21	28	640.52	265.6	764.4	205.5	3.61
	8.5	437	GT-S09	3x18	972	450	10.1	19	22	338.79	193.1	454.8	88.9	1.56
	8.5	M323	HC506Z	4x10;2x16	912	500	10.5	21	24	493.92	228.7	622.2	144.1	2.53
CUY 13D	16	115	T11	3x15;1x16	931	210	8.6	1	1	68	94.1	88.1	8.4	0.04
	12.25	117	TC11P	3x16	768	300	8.6	1	1	205	163.0	217.9	35.9	0.30
	12.25	M421	DSR419M	4x12;4x13	1,252	950	8.9	6	10	802	316.6	1386.8	444.5	3.76
	12.25	M421	DSR419M	4x12;4x13	1,252	980	9.4	14	17	901	326.6	1558.7	515.3	4.36
	12.25	S121	DSX204HF	6x15	1,350	900	9.9	14	16	689	278.1	1284.0	361.6	3.06
	8.5	M223	DSX104HG	5x12	720	470	9.9	15	16	660	272.3	656.6	181.0	3.18
	8.5	437	TD44HMFDPH	3x16	768	550	10.0	25	20	803	298.8	851.4	257.6	4.53
CUY 34D	16	115	T11	3x15;1x16	931	220	8.7	2	1	76	98.6	97.8	9.8	0.05
	12.25	117	TC11P	3x16	768	250	8.7	2	1	144	135.8	153.0	21.0	0.18
	12.25	M421	DSX117GJ	4x12;4x13	1,252	970	9.3	6	10	874	323.2	1510.8	494.4	4.18
	12.25	M422	MSX519M	3x16;2x18	1,416	970	9.9	8	16	727	285.8	1422.0	411.5	3.48
	8.5	S322	RSX192HF	2x10;5x11	805	450	9.7	11	10	474	233.2	527.5	124.5	2.19
	8.5	447	TD44HMKPR	3x16	768	500	10.0	13	16	663	271.6	703.7	193.5	3.40
	8.5	M322	RSR616M	6x12	864	500	10.4	27	24	545	241.4	650.5	159.0	2.80
CUY 35D	16	115	T11	3x15;1x16	931	220	8.6	1	3	75	98.6	96.6	9.6	0.05
	12.25	M323	DSX519M	4x16;5x10	1,524	310	8.7	3	2	56	84.9	118.6	10.2	0.09
	12.25	M323	RSX519M	5x12;4x13	1,396	1,000	9.3	6	5	747	298.9	1440.1	435.7	3.69
	12.25	M323	DSR519M	5x12;4x13	1,396	950	9.8	14	16	710	283.9	1369.5	393.7	3.33
	8.5	M322	RSR516M	2x10;5x11	805	480	10.0	15	16	556	248.8	618.7	155.8	2.74
	8.5	437	DJ30FKPR	3x16	768	500	10.1	25	20	670	271.6	710.7	195.4	3.44
	8.5	M323	DSR619M	6x12	864	500	10.4	24	18	545	241.4	650.5	159.0	2.80
CUY 29D	16	115	T11	3x16;1x18	1,092	270	8.6	2	1	82	103.2	124.1	13.0	0.06
	12.25	117	TC11P	3x16	768	300	8.7	2	1	208	163.0	220.4	36.4	0.31
	12.25	M323	RSR519M	7x12	1,008	900	9.3	6	10	1,160	372.5	1615.5	609.2	5.16
	12.25	M323	RSR519M	7x13	1,183	800	10.0	8	16	716	282.1	1169.5	334.0	2.83
	8.5	S322	RSX192HFGSW	2x10;5x11	805	450	10.0	11	10	489	233.2	543.8	128.4	2.26
	8.5	417	R01AP	3x15	675	500	10.1	13	16	867	309.0	808.6	253.0	4.45
	8.5	S424	DSR619S	6x12	864	480	10.4	27	24	502	231.8	599.5	140.7	2.47

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 3 Hidráulica y reología pozos perforados en el campo Cuyabeno

Pozo	Datos de Broca					Propiedades del Fluido				Hidráulica de la Broca				
	Diámetro	Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Boquillas [1/32in]	Área de Boquillas [in ²]	Flow Rate [gpm]	Peso [ppm]	PV	YP	Press Drop [psi]	Jet Vel [ft/seg]	JIF	HHP	HSI
CUY 31D	16	115	T11	3x16;1x18	1,092	260	8.8	1	3	78	99.3	117.8	11.8	0.06
	12.25	S322	DSR419S	4x16	1,024	750	9.1	3	2	764	305.6	1080.6	334.3	2.83
	12.25	M323	RSR519M	7x13	1,183	900	9.3	6	5	842	317.4	1376.5	442.3	3.74
	Side Track													
	12.25	117	TC11	3x16	768	650	8.7	3	3	975	353.1	1034.6	369.9	3.13
	12.25	S322	DSX204HF	6x13	1,014	830	10.2	7	12	1,070	341.5	1498.0	517.9	4.38
	8.5	S424	DS619S	1x11;5x12	841	450	10.0	12	17	448	223.2	520.5	117.6	2.07
	8.5	417	TD41AMPC	3x12;1x15	657	500	10.1	14	17	915	317.5	830.8	267.1	4.69
8.5	M322	RSR616M	6x12	864	450	10.3	27	24	437	217.3	521.8	114.8	2.02	
CUY 30D	16	115	T11	3x16;1x18	1,092	145	8.6	1	1	24	55.4	35.8	2.0	0.01
	12.25	117	TC11P	3x16	768	400	8.7	1	1	369	217.3	391.8	86.2	0.73
	12.25	M323	RSRM519M	7x12	1,008	900	9.2	6	10	1,148	372.5	1598.1	602.7	5.10
	12.25	M323	RSRM519M	7x13	1,183	850	9.8	6	10	792	299.8	1293.8	392.7	3.32
	12.25	M323	RSRM519M	6x14;1x15	1,401	900	10.0	7	12	646	268.0	1249.8	339.1	2.87
	8.5	M223	DSX104HG	5x13	845	450	10.2	12	17	453	222.2	528.4	118.9	2.09
	8.5	437	DJ30FKPR	3x16	768	500	10.1	14	17	670	271.6	710.7	195.4	3.44
	8.5	M322	RSX616M	6x12	864	500	10.3	27	24	540	241.4	644.2	157.5	2.77
CUY 32D	16	115	T11	3x16;1x18	1,092	300	8.8	1	1	104	114.6	156.8	18.2	0.09
	12.25	117	S11GP	3x16	768	500	8.8	1	1	584	271.6	619.2	170.3	1.44
	12.25	M323	DSR519M	5x14	980	890	9.3	6	10	1,200	378.9	1624.9	623.3	5.28
	12.25	M323	DSX104DGJNSU	2x11;7x12	1,250	850	10.3	14	17	745	283.7	1286.9	369.6	6.50
	8.5	M422	RSR519M	2x11;4x12	818	450	10.0	14	16	474	229.5	535.1	124.3	2.19
	8.5	437	DJ30FKPR	1x14;2x15	646	500	10.1	15	16	947	322.9	844.9	276.2	4.86
	8.5	M322	DSX616M	6x12	864	450	10.4	25	20	442	217.3	526.9	115.9	2.04
	8.5	437	DJ30FKPR	3x18	972	500	10.4	24	18	431	214.6	578.2	125.6	2.21
CUY 36D	16	115	T11	3x16;1x18	1,092	300	8.6	2	1	102	114.6	153.2	17.8	0.09
	12.25	117	S11GP	1x15;2x18	873	700	8.8	2	1	885	334.5	1067.7	361.6	3.06
	12.25	M421	DSX117GJ	5x12;3x13	1,227	900	9.6	6	10	808	306.0	1369.9	424.4	3.59
	12.25	M421	DSX117GJ	4x12;2x14;2x15	1,418	800	10.2	8	16	508	235.4	995.2	237.1	2.01
	8.5	S424	DSX619S	2x11;4x12	818	450	10.0	11	10	474	229.5	535.1	124.3	2.19
	8.5	437	R09AP	1x14;2x15	646	500	10.1	13	16	947	322.9	844.9	276.2	4.86
	8.5	M422	MSX616M	6x12	864	400	10.5	27	24	352	193.1	420.3	82.2	1.44
	16	115	T11	3x16;1x18	1,092	250	8.8	1	1	72	95.5	108.9	10.5	0.05
CUY 33D	12.25	M323	RSR519M	5x12;2x13	1,058	900	9.7	8	11	1,098	354.9	1605.3	576.8	4.88
	12.25	M323	RSR519M	4x15;3x16	1,668	850	10.4	13	15	423	212.6	973.8	209.6	1.77
	8.5	S424	DSR619S	3x11;3x12	795	400	10.1	20	16	400	209.9	439.4	93.4	1.64
	8.5	M322	RSR616M	6x12	864	400	10.4	29	25	349	193.1	416.3	81.4	1.43

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 3 Hidráulica y reología pozos perforados en el campo VHR

Pozo	Datos de Broca				Propiedades del Fluido				Hidráulica de la Broca					
	Diámetro	Tipo de Broca IADC	Tipo de Broca	Boquillas [1/32in]	Área de Boquillas [in ²]	Flow Rate [gpm]	Peso [ppm]	PV	YP	Press Drop [psi]	Jet Vel [ft/seg]	JIF	HHP	HSI
VHR 12D	12.25	M323	HCD605Z	7x12	1,008	300	9.6	2	3	133.08	124.17	185.28	23.29	0.20
	12.25	M323	HCD605Z	7x12	1,008	950	10.0	10	16	1,390.08	393.19	1,935.41	770.47	6.52
	12.25	M323	QD605X	7x13	1,183	830	10.4	9	15	801.19	292.71	1,309.16	387.97	3.28
	8.5	S323	HC605S	4x12;2x13	914	500	10.1	15	18	473.02	228.23	597.18	137.99	2.43
	8.5	447	MX-S18	3x16	768	500	10.3	18	19	683.23	271.61	724.77	199.31	3.50
	8.5	M323	HC506Z	4x12;2x13	914	550	10.4	16	18	589.36	251.05	744.05	189.12	3.32
VHR 18D	8.5	437	HR-S09	3x19	1,083	500	10.6	21	23	353.59	192.61	528.94	103.15	1.81
	12.25	M323	QD605X	7x12	1,008	250	8.5	2	3	81.83	103.47	113.93	11.93	0.10
	12.25	M323	QD605X	7x12	1,008	900	10.1	8	11	1,260.08	372.50	1,754.42	661.65	5.60
	12.25	M323	QD605X	7x13	1,183	840	10.5	10	11	828.50	296.24	1,353.79	406.03	3.44
	8.5	S323	HC605S	3x16	768	550	10.1	19	18	810.66	298.78	859.95	260.13	4.57
	8.5	437	GX-09H	3x16	768	450	10.2	19	18	548.05	244.45	581.37	143.89	2.53
VHR 19D	8.5	M323	HCM506Z	6x12	864	500	10.4	23	18	545.08	241.44	650.50	159.01	2.80
	12.25	M323	HC605Z	7x12	1,008	200	8.5	2	3	52.37	82.78	72.91	6.11	0.05
	12.25	M323	HC605Z	7x12	1,008	900	9.6	5	12	1,197.70	372.50	1,667.56	628.90	5.32
	12.25	M323	HC605Z	7x13	1,183	840	10.3	13	17	812.72	296.24	1,328.00	398.30	3.37
	8.5	S323	HC605S	6x12	864	580	9.9	10	17	698.20	280.06	833.23	236.26	4.15
	8.5	537	GX-30DX0	3x16	768	500	10.2	15	16	676.60	271.61	717.74	197.37	3.47
VHR 24D	8.5	M323	HCM506Z	6x12	864	500	10.4	18	17	545.08	241.44	650.50	159.01	2.80
	12.25	M323	HCM605ZX	7x13	1,183	400	8.7	3	16	155.66	141.07	254.36	36.33	0.31
	12.25	M323	HCM605ZX	7x13	1,183	900	9.3	3	7	842.39	317.40	1,376.48	442.33	3.74
	12.25	M323	HCM605ZX	7x13	1,183	900	9.8	11	16	887.68	317.40	1,450.49	466.11	3.94
	8.5	M223	HC604	2x11;4x12	818	550	10.0	17	23	707.51	280.51	799.39	227.03	3.99
	8.5	437	MXL-S11	3x18	972	470	10.2	20	22	373.23	201.73	501.09	102.34	1.80
VHR 22D	8.5	S323	HC605S	6x12	864	600	10.4	20	24	784.92	289.72	936.72	274.77	4.83
	8.5	M323	HCM506Z	6x12	864	500	10.4	22	25	545.08	241.44	650.50	159.01	2.80
	12.25	M323	HCM605ZX	8x11	968	500	8.7	5	16	363.26	215.50	485.70	105.97	0.90
	12.25	M323	HCM605ZX	8x12	1,152	850	9.6	9	13	817.93	307.83	1,301.50	405.63	3.43
	12.25	M323	HCM605ZX	8x13	1,352	920	10.1	10	14	731.91	283.89	1,366.81	392.86	3.32
	8.5	M323	HC605Z	5x13	845	600	10.1	19	23	796.94	296.24	930.15	278.97	4.90
	8.5	437	GX-09	3x18	972	600	10.2	22	23	608.25	257.53	816.63	212.92	3.74
	8.5	M323	HC605Z	5x14	980	600	10.4	21	14	610.10	255.43	825.84	213.57	3.75
VHR 21D	8.5	M323	HCM506Z	6x13	1,014	600	10.4	22	24	569.87	246.86	798.15	199.49	3.51
	8.5	437	MXL-S11	3x20	1,200	540	10.6	24	21	335.93	187.74	556.80	105.83	1.86
	12.25	M323	RSX519M	5x12;2x13	1,058	250	8.5	1	1	74.27	98.58	108.54	10.83	0.09
	12.25	M323	RSR519M	4x15;3x16	1,668	900	9.9	6	10	451.07	225.11	1,039.23	236.85	2.00
	12.25	S322	RSX516S	2x10;5x11	805	820	10.3	14	17	1,672.58	424.97	1,859.76	800.19	6.77
	8.5	M223	DSX104HG	2x11;7x12	1,250	570	9.9	14	16	322.17	190.24	556.24	107.14	1.88
	8.5	M322	RSX619M	3x11;3x12	795	450	10.0	15	16	501.42	236.15	550.61	131.65	2.31
	8.5	417	TD41M	3x12;1x15	657	500	10.0	25	20	906.41	317.50	822.55	264.41	4.65
8.5	S424	DSX70FGPV	6x12	864	550	10.3	24	18	653.20	265.58	779.54	209.60	3.68	

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 4

TABLA DE SELECCIÓN DEL EQUIPO SUPERFICIAL

ANEXO No 4 Tabla de selección del equipo superficial

Tipo	Tubo Vertical		Manguera		Union Giratoria		Kelly	
	Long. (ft)	I.D. (in)	Long. (ft)	I.D. (in)	Long. (ft)	I.D. (in)	Long. (ft)	I.D. (in)
1	40	3	45	2	4	2	40	2 1/4
2	40	3 1/2	55	2 1/2	5	2 1/4	40	3 1/4
3	45	4	55	3	5	2 1/4	40	3 1/4
4	45	4	55	3	6	3	40	4

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 5

**TABLA DE PÉRDIDAS DE PRESIÓN A TRAVÉS DEL
EQUIPO SUPERFICIAL**

ANEXO No 5 Tabla de pérdidas de presión a través del equipo superficial

Caudal [GPM]	Tipo de Equipo Superficial			
	1	2	3	4
50	2	1	---	---
60	3	1	---	---
70	5	1	1	---
80	6	2	1	1
90	8	3	1	1
100	10	3	2	1
110	11	4	2	1
120	14	5	3	2
130	16	5	3	2
140	18	6	4	2
150	21	7	4	3
160	24	8	5	3
170	26	9	5	4
180	29	10	6	4
190	33	11	7	4
200	36	13	8	5
210	39	14	8	6
220	43	15	9	6
230	47	16	10	7
240	50	18	11	7
250	55	19	12	8
260	59	21	13	8
270	63	22	14	9
280	67	24	14	10
290	72	26	15	10
300	77	27	17	11
310	82	29	18	12
320	87	31	19	13
330	92	33	20	13
340	97	35	21	14
350	102	37	22	15
360	108	39	23	16
370	114	41	25	17
380	119	43	26	18
390	125	45	27	18
400	131	47	29	19
410	137	49	30	20
420	144	51	31	21
430	150	54	33	22
440	157	56	34	23
450	164	59	36	24
460	170	61	37	25
470	177	64	39	26
480	184	66	40	27
490	192	69	42	28
500	199	71	43	29
510	207	74	45	31
520	214	77	47	32
530	222	80	48	33
540	230	82	50	34
550	238	85	52	35
560	246	88	54	37
570	254	91	56	38
580	262	94	57	39
590	271	97	59	40
600	280	100	61	42
610	288	104	63	43
620	297	107	65	44
630	306	110	67	46
640	315	113	69	47
650	325	117	71	48
660	334	120	73	50
670	343	123	75	51
680	353	127	77	53
690	363	130	79	54
700	373	134	82	56
710	383	137	84	57
720	393	141	86	59
730	403	145	88	60
740	413	148	91	62
750	424	152	93	63
760	434	156	95	65

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 5 Tabla de pérdidas de presión a través del equipo superficial

Caudal [GPM]	Tipo de Equipo Superficial			
	1	2	3	4
770	445	160	98	66
780	456	164	100	68
790	467	168	102	70
800	478	172	105	71
810	489	176	107	73
820	500	180	110	75
830	512	184	112	76
840	523	188	115	78
850	535	192	117	80
860	547	197	120	82
870	559	201	123	83
880	571	205	125	85
890	583	209	128	87
900	595	214	131	89
910	607	218	133	91
920	620	223	136	93
930	632	227	139	94
940	645	232	142	96
950	658	237	144	98
960	671	241	147	100
970	684	246	150	102
980	697	251	153	104
990	710	256	156	106
1000	724	260	159	108
1010	---	265	162	110
1020	---	270	165	112
1030	---	275	168	114
1040	---	280	171	116
1050	---	285	174	119
1060	---	290	177	121
1070	---	295	180	123
1080	---	300	183	125
1090	---	306	187	127
1100	---	311	190	129
1110	---	316	193	131
1120	---	321	196	134
1130	---	327	200	136
1140	---	332	203	---
1150	---	338	206	---
1160	---	343	210	---
1170	---	349	213	---
1180	---	354	216	---
1190	---	360	220	---
1200	---	366	223	---
1210	---	371	227	---
1220	---	377	230	---
1230	---	383	234	---
1240	---	389	237	---
1250	---	394	241	---
1260	---	400	244	---
1270	---	406	248	---
1280	---	412	252	---
1290	---	418	255	---
1300	---	424	259	---
1310	---	430	263	---
1320	---	437	267	---
1330	---	443	270	---
1340	---	449	274	---
1350	---	455	278	---
1360	---	461	282	---
1370	---	468	286	---
1380	---	474	290	---
1390	---	481	294	---
1400	---	487	297	---
1410	---	494	301	---
1420	---	500	305	---
1430	---	507	309	---
1440	---	513	314	---
1450	---	520	318	---
1460	---	527	322	---
1470	---	533	326	---
1480	---	540	330	---
1490	---	547	334	---
1500	---	554	338	---

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 6

NOMENCLATURA BROCAS

ANEXO No 6 Nomenclatura brocas para campo Cuyabeno.

XX	Y	5	16	M
Linea de producto	Tipo de cortador	No. aletas	Tamaño cortadores	Material broca
DS-Estándar	H-Helios	2	8mm	S-Steel
FT- Fuse Tek	FX-DuraForced	3	11mm	M-Matriz
MS-Motor Steerable	R-Raptor	4	13mm	
RS-Rotary steerable	X-TreX	5	16mm	
TF-Titan		6	19mm	
		7		
		8		
	9			
		10		

ELABORADO POR: Walter Haro

ANEXO No 6 Nomenclatura brocas para campo VHR.

XX	5	06	Y	Z
Linea de producto	Tamaño cortadores	No. aletas	Aplicación	Cortadores adicionales
Q-Quantec	2=1/4 in=8mm	02	S-Cuerpo acero	X-Una fila
QF- Quantec Force	3=3/8 in=11mm	03	H-Roca dura	XX-Doble fila
HCZX-Genesis ZX	4=1/2 in=13mm	04		
HCZ-Genesis Z	5=5/8 in=16mm	05		
FC-Triton	6=3/4=19mm	06		
		07		
		08		
		09		
		10		

ELABORADO POR: Walter Haro